

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Vytvoření metodiky pro testování měřících přístrojů a
sledování parametrů kvality**

**Developing a methodology for testing instruments for
monitoring power quality parameters**

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Podstawka**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612R041 Řídicí a informační systémy
Téma: Vytvoření metodiky pro testování měřicích přístrojů pro sledování parametrů kvality
Developing a Methodology for Testing Instruments for Monitoring Power Quality Parameters
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Vytvořit metodiku testů a vlastní testy pro ověření vlastností přístrojů umožňujících sledování parametrů kvality elektřiny na základě požadovaných vlastností dle ČSN EN 50160.

1. Nastudování norem pro hodnocení parametrů kvality elektřiny a pro rozdělení přístrojů s ohledem na třídy měření.
2. Specifikace vlastností testovaných přístrojů. (analýzátory sítí, elektroměry s možností měření parametrů kvality elektřiny)
3. Návrh průběhů napětí pro testování zařízení s ohledem na vybrané parametry kvality elektřiny.
4. Měření navržených průběhů a jejich časový záznam pro další vyhodnocení.
5. Porovnání naměřených průběhů s navrženými parametry a jejich porovnání s požadavky normy.
6. Zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 50160 ed. 3. (330122). *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. CENELEC. překlad: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 32 s.
- [2] ČSN EN 61000-4-30 ed. 3. (333432). *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-30: Zkušební a měřicí technika - Metody měření kvality energie.*, převzatá EN, překlad úvodní strany: NELKO Tanvald a Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 40 s.
- [3] BOLLEN, Math H. J. *Understanding power quality problems: voltage sags and interruptions*. New York: IEEE Press, c2000. ISBN 0-7803-4713-7.
- [4] ŠINDELÁŘ, Václav. *Slovník metrologie, zkušebnictví a praktické fyziky* [CD-ROM]. Praha: Česká metrologická společnost, 2002.
- [5] Technická specifikace k použitým přístrojům.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Richard Velička, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



doc. Ing. Jiří Kozíorek, Ph.D.
vedoucí katedry

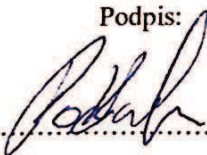


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 26. března 2019

Podpis:

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and appears to be a cursive representation of a name.

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Richardu Veličkovi, PhD. za pomoc při shánění podkladů a přístrojů nezbytných pro realizaci bakalářské práce. V neposlední řadě bych mu rád poděkoval za nesčetné fundované rady ohledně struktury práce a čas, který mi věnoval prostřednictvím konzultací.

Abstrakt

Tato práce se zabývá testováním měřících přístrojů sledujících parametry kvality elektrické energie a samotným návrhem metodiky testů s ohledem na třídu přístrojů. V práci je poukázáno na rozdílné možnosti analyzátorů sledujících kvalitu sítě a elektroměrů s možností sledování parametrů kvality elektrické energie. Práce je rozdělena na část teoretickou a část praktickou

Teoretická část práce pojednává o parametrech a specifikacích jednotlivých přístrojů použitých pro realizaci testů. Dále je zaměřena na české normy zabývající se charakteristikami napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí, metodami měření kvality elektrické energie a třídami přístrojů sledujících kvalitu elektrické energie.

Praktická část zahrnuje návrh testovacích průběhů napětí s ohledem na vybrané parametry kvality elektřiny s důrazem na poklesy, přerušení a přepětí. Dále samotnou realizaci testů na vybraných zařízeních. Na základě provedeného měření jsou v závěru zhodnoceny výsledky a jejich porovnání s příslušnými normami.

Klíčová slova: metodika měření; analyzátor; elektroměr; kvalita elektřiny; přepětí; podpětí; přerušení v síti

Abstract

This work deals with testing of measuring instruments monitoring parameters of electric power and with the design of test methodology with respect to the device class. In this work we point out the different possibilities of analyzers monitoring the quality of the network and electricity meters with the possibility of monitoring the parameters of the power quality. The thesis is divided into theoretical and practical part.

The theoretical part of the thesis deals with the parameters and specifications of the individual instruments used for the tests. Moreover, it focuses on Czech standards dealing with the voltage characteristics of electricity supplied from public distribution networks, methods of measuring the quality of electricity and classes of devices monitoring the quality of electricity.

The practical part includes the design of test voltage waveforms with heed to selected parameters of electricity quality with emphasis on undervoltages, interruptions and overvoltages. Furthermore, the actual implementation of tests on selected devices. Based on the measurements, the results and their comparison with the relevant standards are evaluated.

Keywords: test methodology; analyzer; electricity meter; power quality; overvoltage; undervoltage; network interruptions

Obsah

Abstrakt	3
Seznam použitých symbolu a zkratek	5
Seznam obrázků	6
Seznam tabulek	7
Úvod	10
1 Kvalita elektrické energie	11
1.1 Charakteristiky dodávky elektrické energie	11
1.1.1 Kmitočet sítě	12
1.1.2 Velikost a odchylka napětí v síti	12
1.1.3 Rychlé změny napětí	12
1.1.4 Flikr	13
1.1.5 Míra vjemu flikru	13
1.1.6 Poklesy napájecího napětí	13
1.1.7 Nesymetrie napájecího napětí	13
1.1.8 Harmonická napětí	14
1.1.9 Meziharmonická napětí	14
1.1.10 Úrovně napětí signálů v napájecím napětí	14
1.1.11 Krátkodobá přerušení napájecího napětí	15
1.1.12 Dlouhodobá přerušení napájecího napětí	15
1.1.13 Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu	15
1.1.14 Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí	16
1.2 Požadavky na měření parametrů kvality	17
1.3 Třídy provádění měření	17
2 Měřicí přístroje pro sledování parametrů kvality	19
2.1 Ruční analyzátory	19
2.2 Přenosné analyzátory	20
2.3 Stacionární analyzátory	20
2.4 Elektroměry s možností sledování kvality	21
2.4.1 OBIS kódy	21
2.5 Vybrané přístroje pro testování navržené metodiky	21
2.5.1 ENA330	21
2.5.2 ENA075 (ENA175)	22
2.5.3 SL7000	22
2.5.4 HP 6834B	23
3 Návrh testovacího průběhu	24

3.1	Důležité hladiny napětí v testovacím průběhu	24
3.2	Délky změn napětí pro testovací průběh	24
3.3	Návrh testovacího průběhu.....	24
3.3.1	Přepětí	24
3.3.2	Podpětí.....	24
3.3.3	Přerušení a silná podpětí	25
3.4	Zobrazení testovacího průběhu napětí v grafu	25
4	Testování metodiky měření na vybraných přístrojích	30
4.1	Schéma zapojení.....	30
4.2	Programování měřicího průběhu	31
4.2.1	Programování	31
5	Vyhodnocení naměřených hodnot.....	32
5.1	Vyčítání naměřených hodnot	32
5.1.1	Vyčítání hodnot z ENA330	32
5.1.2	Vyčítání hodnot z ENA075	32
5.1.3	Vyčítání hodnot z SL7000.....	33
5.2	Vyhodnocení naměřených hodnot času a napětí	33
5.2.1	Vyhodnocení dat z ENA330.....	34
5.2.2	Vyhodnocení dat z ENA075.....	38
5.2.3	Vyhodnocení dat z SL7000	42
5.3	Zhodnocení výsledků	44
6	Závěr	45
	Literatura	46

Seznam použitých symbolu a zkratek

f	frekvence	[Hz]
U_n	efektivní hodnota jmenovitého napětí	[V]
U_f	efektivní hodnota fázového napětí	[V]
U_{ef}	efektivní hodnota napětí	[V]
$U_{rms(1/2)}$	efektivní hodnota napětí za půlperiodu	[V]
I	proud	[A]
I_n	jmenovitý proud	[A]
P	výkon	[W]
P_{st}	krátkodobá míra vjemu flikru	[-]
P_{lt}	dlouhodobá míra vjemu flikru	[-]
THD	total harmonic distortion (zkreslení sinusového signálu)	
RMS	root mean square (efektivní hodnota)	
nn	nízké napětí	
vn	vysoké napětí	
vvn	velmi vysoké napětí	

Seznam obrázků

Obr. 1- Parametry napětí podle normy ČSN EN 50160 (převzato z [9])	12
Obr. 2- Úrovně napětí na kmitočtech signálů v procentech UN ve veřejných distribučních sítích nn	15
Obr. 3 - Příklady ručních analyzátorů (převzato z [11])	19
Obr. 4 - Příklady přenosných analyzátorů (převzato z [4] a [5]).....	20
Obr. 5 - Příklady stacionárních analyzátorů.....	20
Obr. 6 - Analyzátor ENA330	21
Obr. 7- Analyzátor ENA075	22
Obr. 8 - Elektroměr SL7000.....	22
Obr. 9 - Zdroj HP6834B.....	23
Obr. 10 - Legenda popisující barevné dělení buněk.....	25
Obr. 11 - Část testovacího průběhu na pomalé změny.....	26
Obr. 12 - Část testovacího průběhu na středně rychlé změny	27
Obr. 13 - Část testovacího průběhu na rychlé změny.....	28
Obr. 14 - Část testovacího průběhu na velmi rychlé změny	29
Obr. 15 - Schéma zapojení měření	30
Obr. 16 - Ukázka reálného zapojení.....	30
Obr. 17 - Programovací tabulka pro prvních 10 změn výstupního signálu.....	31
Obr. 18 - AC Source GUI.....	31
Obr. 19 - Ukázka formátu vyčtených dat z ENA330	32
Obr. 20 - Ukázka formátu vyčtených dat z ENA075	33
Obr. 21 - Ukázka formátu vyčtených dat z SL7000.....	33
Obr. 22- Graf vyhodnocených hodnot ENA330 (pomalé změny)	34
Obr. 23- Graf vyhodnocených hodnot ENA330 (středně rychlé změny).....	35
Obr. 24- Graf vyhodnocených hodnot ENA330 (rychlé změny)	36
Obr. 25- Graf vyhodnocených hodnot ENA330 (velmi rychlé změny)	37
Obr. 26- Graf vyhodnocených hodnot ENA075 (pomalé změny)	38
Obr. 27 - Graf vyhodnocených hodnot ENA075 (středně rychlé změny).....	39
Obr. 28 - Graf vyhodnocených hodnot ENA075 (rychlé změny)	40
Obr. 29 - Graf vyhodnocených hodnot ENA075 (velmi rychlé změny)	41
Obr. 30 - Graf vyhodnocených hodnot SL7000 (pomalé změny)	42
Obr. 31 - Graf vyhodnocených hodnot SL7000 (středně rychlé změny)	43
Obr. 32 - Graf vyhodnocených hodnot SL7000 (rychlé změny).....	44

Seznam tabulek

Tab. 1- Úrovně harmonických napětí v místě předávacím místě v procentech pro řády 2 až 25.....	14
Tab. 2 - Přehled kritérií kvality podle EN 50160 (převzato z [9])	16
Tab. 3 - Rozsah ovlivňujících veličin (vstupních signálů) pro třídu funkce B.....	17
Tab. 4 - Rozdílné parametry pro třídy A a S	18
Tab. 5 - Technické parametry ENA330	21
Tab. 6 - Technické parametry ENA075	22
Tab. 7 - Technické parametry SL7000.....	22
Tab. 8 – Technické parametry 6834B	23
Tab. 9 - Parametry testovacího průběhu (pomalé změny).....	26
Tab. 10 - Parametry testovacího průběhu (středně rychlé změny).....	27
Tab. 11 - Parametry testovacího průběhu (rychlé změny)	28
Tab. 12 - Parametry testovacího průběhu (velmi rychlé změny)	29
Tab. 13 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA330 (pomalé změny)	34
Tab. 14 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA330 (středně rychlé změny).....	35
Tab. 15 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA330 (rychlé změny)	36
Tab. 16 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA330 (velmi rychlé změny)	37
Tab. 17 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA075 (pomalé změny)	38
Tab. 18 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA075 (středně rychlé změny).....	39
Tab. 19 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA075 (rychlé změny)	40
Tab. 20 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA075 (velmi rychlé změny)	41
Tab. 21 - Tabulka vyhodnocení hodnot SL7000 (pomalé změny).....	42
Tab. 22 - Tabulka vyhodnocení hodnot SL7000 (středně rychlé změny)	43
Tab. 23 - Tabulka vyhodnocení hodnot SL7000 (rychlé změny).....	44

Úvod

Kvalita elektrické energie je jeden ze stěžejních faktorů ovlivňujících fungování a rozvoj celého světa. Téměř veškeré procesy a aktivity dnešní společnosti jsou přímo nebo nepřímo závislé na elektrické energii, a tudíž i její kvalitě. Požadavky na kvalitu elektřiny se s postupem času stále zpříšňují. Výroba a distribuce je poskytována celou řadou veřejných i komerčních firem, které jsou korigovány pomocí norem vydávaných jednotlivými státy nebo jejich společenstvími. Distribuční společnosti tedy podléhají přísným kontrolám příslušných institucí, které mají za cíl dohlížet na to, aby elektrická energie dodávaná konečnému zákazníkovi odpovídala předepsané kvalitě.

Pro měření a zpracování dat jsou využívány specializované měřicí přístroje, elektroměry s možností měření parametrů kvality elektřiny a analyzátory sítí. Tyto přístroje se dělí podle konstrukčního provedení v závislosti na požadovaném použití. Dále se přístroje dělí do tříd podle přesnosti a algoritmů využitých pro měření. Díky dnešnímu rozvoji techniky lze některá vyhodnocení naměřených parametrů provést již v měřicím přístroji. Díky tomuto faktu mizí manuální vyhodnocování, a vývoj se posouvá k automatizovanému vyhodnocování jevů souvisejících s kvalitou elektrické energie. Tento trend má za následek zvyšování softwarových a hardwarových požadavků na přístroje, které mají přímý vliv na jejich cenu. Tato skutečnost je ovšem vyvážena menšími náklady na lidské zdroje.

Úkolem této práce je popis kvality elektrické energie definované v normě ČSN EN 50 160 ed.3 Charakteristiky napětí dodávaných z veřejných distribučních sítí, jež byla uvedena v platnost v únoru 2011. Další část této kapitoly pojednává o třídách měření podle parametrů specifikovaných v normě 61000-4-30 ed.3 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-30: Zkušební a měřicí technika – Metody měření kvality energie ze srpna 2017.

Druhá kapitola obsahuje dělení přístrojů určených pro měření kvality elektrické energie. Dále je část kapitoly věnována technickým parametrem přístrojů vybraných pro realizaci měření kvality elektrické energie.

Třetí kapitola je věnována návrhu průběhů, které budou využity k otestování přístrojů s ohledem na vybrané parametry kvality napětí v elektrické síti. Konkrétně poklesy, přerušení a přepětí.

Čtvrtá kapitola popisuje postup při programování programovatelného zdroje. Kapitola dále obsahuje samotný postup měření kvality elektrické energie s ohledem na vybrané parametry.

Pátá kapitola obsahuje vyhodnocení prostřednictvím grafů a tabulek hodnot získaných při měření testovacího průběhu na jednotlivých měřicích přístrojích.

Práce je zakončena závěrem zhodnocující výsledky bakalářské práce a posouzením do jaké míry metodika naplnila očekávané cíle.

1 Kvalita elektrické energie

Udržování a vylepšování kvality energie hraje v dnešních dnech velmi důležitou roli. Důraz na kvalitu elektřiny nám umožňuje předcházet problémům a škodám, které se mohou vyskytovat při jejím užívání. Při aktuálním trendu vývoje elektrotechniky se stále častěji setkáváme s využíváním nelineárních zařízení, které mají proměnlivou provozní charakteristiku. Jedná se například o motory, zařízení obsahující polovodičové součástky nebo zářivky. Tato zařízení svým zpětným vlivem na síť negativně ovlivňují kvalitu elektřiny. Parametry popisující kvalitu elektrické energie jsou popsány v normě ČSN EN 50160 ed.3 [1].

1.1 Charakteristiky dodávky elektrické energie

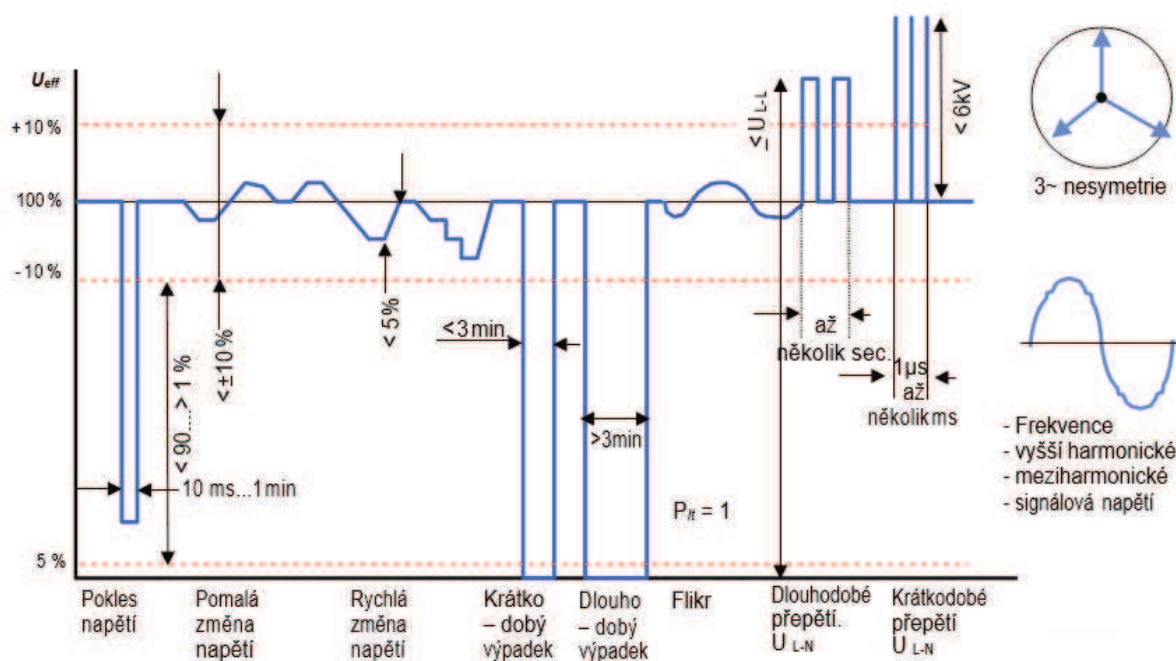
Parametry napětí elektrické sítě, které popisují dodávky z veřejné sítě o příslušné kvalitě vycházejí z normy ČSN EN 50 160 [1] v plném znění, které stanovuje pro sítě nn a vn limity zejména pro:

- a) kmitočet sítě
- b) velikost a odchylky napájecího napětí
- c) odchylky napájecího napětí
- d) rychlé změny napětí
 - velikost rychlých změn napětí
 - intenzita vjemu flikru
- e) krátkodobé poklesy napájecího napětí
- f) nesymetrie napájecího napětí
- g) harmonická napětí
- h) mezipharmonická napětí
- i) úrovně napětí signálů v napájecím napětí
- j) krátkodobá přerušení napájecího napětí
- k) dlouhodobá přerušení napájecího napětí
- l) dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí
- m) přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí.

Pro body a) až i) pro odběrná místa z DS s napětíovou úrovní nn a vn:

- zaručované hodnoty
- měřicí intervaly
- doby provozu
- naplnění popsaných limitů dle ČSN EN 50 160

Pro body j) až m) uvádí norma ČSN EN 50 160 pouze informativní hodnoty.



Obr. 1- Parametry napětí podle normy ČSN EN 50160 (převzato z [9])

1.1.1 Kmitočet sítě

Jmenovitý kmitočet napájecího napětí je 50 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být střední hodnota kmitočtu základní harmonické měřená v intervalu 10 s v následujících mezích

u systémů se synchronním připojením k propojenému systému

50 Hz \pm 1 % (tj. 49,5 Hz ... 50,5 Hz) během 99,5 % roku

50 Hz + 4 % / -6 % (tj. 47 Hz ... 52 Hz) po 100 % času

u systémů bez synchronního připojení k propojenému systému (tj. ostrovní napájecí systémy) 50 Hz \pm 2 % (tj. 49 Hz ... 51 Hz) během 95 % týdne

50 Hz \pm 15 % (tj. 42,5 Hz ... 57,5 Hz) po 100 % času

1.1.2 Velikost a odchylka napětí v síti

Normalizované jmenovité napětí U_n pro veřejnou síť nízkého napětí je $U_n = 230$ V, buď mezi fází a uzlem nebo $U_n = 400$ V mezi fázemi. V trojfázových sítích vysokého napětí je hodnot stanovených pro jmenovité napětí více $U_n = 3, 6, 10, 22$ a 35 kV. A v případě velmi vysokého napětí $U_n = 110, 220$ a 400 kV.

Odchytky jsou ve většině případů způsobeny změnami celkového zatížení distribuční sítě nebo její části. Za normálních provozních podmínek, kromě období s přerušením, odchylka napájecího napětí nemá přesáhnout ± 10 % jmenovitého napětí U_n . V sítích s jmenovitým napětím 110 kV je stanoveno pouze nejvyšší napětí 123 kV.

1.1.3 Rychlé změny napětí

Rychlé změny napětí v elektrické síti mohou být způsobeny celou řadou případů. Ve většině z nich se však jedná o spínání v síti, změny zatížení u uživatelů sítě nebo poruchy. Pokud napětí během rychlé změny dojde k překročení prahu zvýšení nebo poklesu napětí je událost klasifikována jako podpětí nebo v opačném případě přepětí.

1.1.4 Flicker

Tento jev má za následek změnu zrakového vnímání světla. Lidské oko tento jev vnímá jako rychlé blikání, a může působit velice nepříjemně. Flicker je vyvolán častou změnou světelného toku v závislosti na periodických změnách napětí v síti, které překračují dovolené toleranční meze.

1.1.5 Míra vjemu flickru

Intenzita nepříjemnosti flickru definovaná následujícími veličinami:

- krátkodobá míra vjemu flickru P_{st} (Short Term Flicker Severity – P_{st}) je měřena po dobu deseti minut
- dlouhodobá míra vjemu flickru P_{lt} (Long Term Flicker Severity – P_{lt}) je vypočítána z posloupnosti 12 hodnot P_{st} po dobu dvouhodinového intervalu použitím následujícího vztahu:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}} \quad (1)$$

Kde: P_{lt} – je dlouhodobá míra vjemu flickru

P_{st} – krátkodobá míra vjemu flickru

Za normálních provozních podmínek musí být po 95 % času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flickru $P_{lt} \leq 1$.

1.1.6 Poklesy napájecího napětí

Jedná se dočasný(krátkodobý) jev, při kterém dochází k poklesu napětí pod jmenovitou(dohodnutou) hodnotu napětí. Tento jev ve většině případů způsobují poruchy ve veřejné síti nebo v instalaci uživatelů sítě. Pro potřeby této normy je počáteční prahová hodnota rovna 90 % dohodnutého

napětí. Hloubka krátkodobého poklesu napětí je definována jako rozdíl mezi minimální efektivní hodnotou v průběhu krátkodobého poklesu a jmenovitým napětím.

1.1.7 Nesymetrie napájecího napětí

Jedná se o stav, kdy v trojfázové distribuční soustavě dochází k rozdílným napětím mezi jednotlivými fázemi nebo k rozdílným fázovým úhlům. Za obvyklých podmínek musí být během týdne 95 % středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v měřicích intervalech deseti minut v rozsahu 0 až 2 %. V některých částech sítě, kde je jsou instalace odběratelů připojeny jedno nebo dvoufázově se vyskytují nesymetrie až do 3 %. V normě ČSN EN 50 160 [1] jsou uvedeny hodnoty pouze pro zpětnou složku, protože tato složka je rozhodující pro možné rušení.

1.1.8 Harmonická napětí

Za normálních podmínek musí Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v Tab. 1.

Tab. 1- Úrovně harmonických napětí v místě předávacím místě v procentech pro řády 2 až 25

Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	Harmonické napětí (U_h)	Řád harmonické h	Harmonické napětí (U_h)	Řád harmonické h	Harmonické napětí (U_h)
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

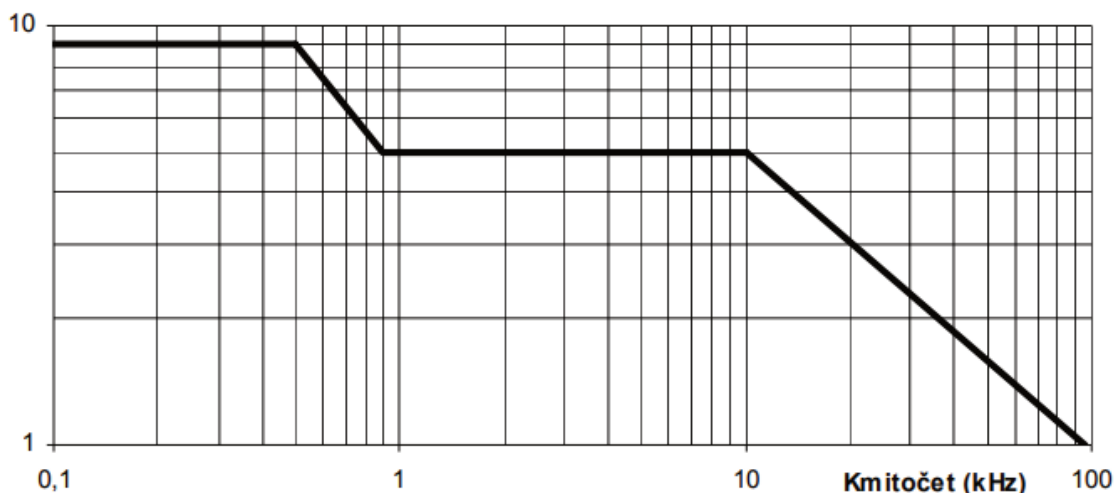
1.1.9 Meziharmonická napětí

Sinusové napětí s frekvencí rovnou násobku základního kmitočtu síťového napětí. Tento jev stále častějšímu využívání měničů kmitočtu narůstá. V určitých případech způsobuje flickr (viz podkapitola 1.1.4) nebo rušení v systémech hromadného dálkového ovládání.

1.1.10 Úrovně napětí signálů v napájecím napětí

V některých zemích provozovatelé distribučních sítí využívají veřejnou distribuční síť k přenosu informací. Střední hodnota napětí signálu měřeného po dobu tří sekund musí být v 99 % dne menší nebo rovna hodnotám daným na Obr. 1.

Úroveň napětí (%)



Obr. 2- Úrovně napětí na kmitočtech signálů v procentech UN ve veřejných distribučních sítích nn

V instalacích odběratelů se mohou používat pro přenosy informací po vedení nosné signály s kmitočtovým rozsahem od 95 kHz do 148,5 kHz. I když použití veřejné distribuční sítě pro přenos signálů mezi uživateli není dovoleno, musí se ve veřejné distribuční síti brát v úvahu výskyt napětí na těchto kmitočtech až do hodnoty 1,4 V (efektivní hodnota). Vzhledem k možnosti vzájemného ovlivňování sousedících sdělovacích zařízení bude uživatel muset použít ochranná opatření nebo vhodnou imunitu své instalace proti vlivu těchto signálů.

V případech PLC se používají v některých sítích také kmitočty nad 148,5 kHz.

1.1.11 Krátkodobá přerušování napájecího napětí

Přerušování se klasifikuje jako krátkodobé v případě, že trvá < 3 min. Ve většině případů se však jedná o stovky milisekund. Často jsou předcházeny krátkodobými poklesy napětí. U jednofázového respektive vícefázového systému přerušování napětí nastane, když efektivní hodnota napětí klesne pod 5 % referenčního napětí. U vícefázových soustav nastane v případě poklesu napětí pod 5 % referenčního napětí ve všech fázích. Moderní měřicí přístroje při přerušování zaznamenají tzv. událost, ve které zaznamenají parametry přerušování.

1.1.12 Dlouhodobá přerušování napájecího napětí

Přerušování s dobou trvání nad 3 minuty. Mohou být plánovaná nebo nepředvídatelná. Tyto události jsou z pravidla monitorovány z důvodu určení právní a hmotné odpovědnosti za škody vzniklé přerušováním dodávky elektrické energie.

1.1.13 Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu

Jedná se o dočasné přepětí o kmitočtu sítě mezi živými vodiči a zemí v síti nn. Tato událost může být důsledkem poruchy v síti vn. Trvání a velikost je závislá na okolnostech poruchy a zemní impedanci sítě vn. Pro účely této normy je práh dočasněho zvýšení napětí roven 110 % U_n . Ve vícefázových systémech krátkodobé zvýšení napětí začíná, když napětí $U_{rms(1/2)}$ jednoho nebo více kanálů je nad prahovou hodnotou krátkodobého zvýšení a končí, když napětí $U_{rms(1/2)}$ je na všech kanálech rovno nebo je pod prahovou hodnotou krátkodobého zvýšení napětí po odečtení napětí hystereze.

1.1.14 Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí

Obvykle se jedná o tlumené přepětí s trváním v řádech několika mikrosekund až jednotek milisekund. Přechodová napětí jsou obvykle vyvolána spínáním nebo činností pojistek a jističů nebo například úderem blesku do vedení. Jejich úroveň a délky trvání lze v případě blesku omezit použitím bleskojistik.

Tab. 2 - Přehled kritérií kvality podle EN 50160 (převzato z [9])

Parametr	Požadavky	Interval měření
Frekvence sítě	50 Hz $\pm 0,5$ Hz po dobu 95 % jednoho týdne; 50 Hz +4 % / -6 % trvale	10s střední hodnota
Změny napětí	$U_n \pm 10$ % po dobu 95 % jednoho týdne; $U_n + 10/-15$ % trvale	10min střední hodnota
Flikr	Vjem dlouhodobého blikání Plt <1 po dobu 95 % jednoho týdne	2 hodiny (dle EN 61000-4-15)
Nesymetrie	Poměr U (protiběžná soustava) / U (souběžná soustava) <2 % po dobu 95 % jednoho týdne	10-minutová střední hodnota
Vyšší harmonické $U_{H2} \dots U_{H40}$	<Mezní hodnota dle tabulky normy a THD <8 % po dobu 95 % jednoho týdne	10min. střední hodnota každé harmonické (dle EN 61000-4-7)
Signálová napětí	< Charakteristika dle normy =f(f) po dobu 99 % jednoho dne	3sekundová střední hodnota
Poklesy napětí	Počet <10 ... 1000 / rok; z toho >50% trvajících <1s	10ms-efektivní hodnota $40\%U_n$ $\leq U_{10ms} \leq 90\%U_n$
Krátkodobé výpadky napětí	Počet <10 ... 1000 / rok; z toho >70% trvajících <1s	10ms-efektivní hodnota $U_{10ms} \leq 5\%U_n$
Dlouhodobé výpadky napětí	Počet <10 ... 50 / rok trvajících >3 min	
Dlouhodobá přepětí (L-N)	Počet <10 ... 1000 / rok; z toho >70% trvajících <1s	10ms-efektivní hodnota U_{10ms} >110% U_n

1.2 Požadavky na měření parametrů kvality

Požadavky na měření a vyhodnocení získaných hodnot při sledování parametrů elektřiny v napájecích sítích 50/60 Hz definuje norma ČSN EM 61000-4-30 [2].

Pro každý důležitý parametr kvality je formulován takový popis, aby umožnil provádět spolehlivé, opakovatelné a porovnatelné měření s možností sledované hodnoty efektivně vyhodnotit bez ohledu na použitý přístroj a podmínky při měření. Norma [2] předpokládá měření v místě instalace. Výsledky měření umožňují nálezní původu zhoršení kvality, její rozbor a identifikaci, zda je původcem dodavatel, či odběratel. Zkoumání výsledků sledování kvality vede k minimalizaci poruch a zefektivnění využívání elektrické energie.

Měření parametrů pokryté touto normou je omezeno na ty jevy, které se mohou v napájecí síti šířit vedením s důrazem na parametry napětí a/nebo proudu. Jedná se o velikost napájecího napájení, kmitočtu sítě, flickr, dlouhodobé a krátkodobé poklesy, harmonické a meziharmonické napětí, síťové signály přenášené po vedení, přerušení, nesymetrie

1.3 Třídy provádění měření

Přístroje určené k měření elektřiny nebo parametrů její kvality jsou rozděleny do tříd. Tyto třídy jsou popsány normou ČSN EM 61000-4-30 [2] a definují požadavky, které jsou na přístroje při měření kladeny.

Třída A

Využívá se tam, kde je důležité provádět přesná měření, například při ověřování plnění norem, plnění smluvních podmínek mezi dodavatelem a odběratelem, analýzách využívaných pro zefektivnění využívání elektrické energie atd. Jakákoli dvě měření provedena dvěma různými měřicími přístroji třídy A, které měří stejné signály by měly podávat srovnatelné výsledky s ohledem na specifikované nejistoty měření.

Třída B

Tato třída měření je používána například při sestavování statistických přehledů, aplikací odstraňování poruch nebo i v případě ostatních aplikací, pokud není požadována nízká míra nejistoty.

Výrobce přístrojů splňující podmínky pro provádění měření třídy B by měl stanovit veličiny, které mohou negativně ovlivnit výsledky měření. Výsledný parametr Δf musí být v rozsahu výrobcem specifikované nejistoty.

Tab. 3 - Rozsah ovlivňujících veličin (vstupních signálů) pro třídu funkce B

Ovlivňující veličiny	Rozsah změn
Kmitočet	42,5 Hz ÷ 57,5 Hz pro síť 50 Hz
Velikost napětí (ustálený stav)	0 % ÷ 150 % U_{din}
Nesymetrie	0 % ÷ 5 %
Harmonické (THD)	Dvojnásobek hodnot v IEC 61000-2-4, třída 3
Meziharmonické (na jakémkoliv kmitočtu)	Dvojnásobek hodnot v IEC 61000-2-4, třída 3
Signální napětí v síti	0 % ÷ 9 % U_{din}

Třída S

Třída S je svými požadavky mezi třídou A a třídou B. Od třídy A se liší požadavky uvedenými v Tab. 4.

Tab. 4 - Rozdílné parametry pro třídy A a S

	Třída A	Třída S
Chyby měření kmitočtu napětí	10 mHz	50 mHz
Chyby měření efektivních hodnot napětí	0,1 % U_n	0,5 % U_n
Chyby měření nesymetrie třífázového napětí	0,15 % U_n	0,3 % U_n
Chyby měření harmonických a mezipharmonických v napětí:	5 % U_{harm} při $U_{harm} \geq 1 \% U_n$ 0,05 % U_{harm} při $U_{harm} < 1 \% U_n$	10 % U_{harm} při $U_{harm} \geq 3 \% U_n$ 0,3 % U_{harm} při $U_{harm} < 3 \% U_n$
Chyby měření flikru P_{st}	5 % z P_{st}	
Chyby měření zbytkového napětí $U_{rms1/2}$	0,2 %	1 %
Doby trvání události na napětí	20 ms	20 ms
Chyby měření efektivních hodnot proudů	0,1 % z cel.rozs.	1 % z celého rozs.
Chyby měření harmonických v proudech	5 % I_{harm} při $I_{harm} \geq 3 \% I_n$ 0,15 % I_{harm} při $I_{harm} < 3 \% I_n$	5 % I_{harm} při $I_{harm} \geq 10 \% I_n$ 0,5 % I_{harm} při $I_{harm} < 10 \% I_n$

Jmenovité hodnoty: $U_n = U_{jm} = 230 \text{ V}$, $I_n = I_{jm} = 10 \text{ A}$.

2 Měřicí přístroje pro sledování parametrů kvality

K měření kvality elektrické energie jsou nejčastěji využívány analyzátory sítí nebo elektroměry s možností sledování kvality elektřiny. Tyto přístroje se dělí podle svých tříd, které jsou popsány v podkapitole 1.3. Analyzátory ve většině případů spadají do tříd A a S. Dále se dělí podle své konstrukce závislé na požadavcích pro aplikaci.

2.1 Ruční analyzátory

Jedná se o nejjednodušší typ analyzátorů. Ručními analyzátory se provádějí základní měření.

Tento typ přístrojů vznikl díky pokroku ve vývoji technologií zabývajících se integrací elektronických součástek. Hlavním cílem výrobcův tomto sektoru je poskytovat přístroje, které budou lehce přenositelné s možností jednoduchého a rychlého přehledu o jednotlivých parametrech kvality s ohledem na cenu přístroje. Tyto přístroje měří jednofázové i třífázové soustavy a některé z nich jsou vybaveny komunikačním rozhraním pro přenášení informací do PC. Kategorie těchto přístrojů zahrnují celou řadu provedení jako jsou například záznamníky kvality, klešťové analyzátory, analyzátory s dotykovým displejem atd. Ukázka provedení některých analyzátorů jsou vyobrazeny v Obr. 1.



a)



b)



- a) C.A 8336 - Třífázový analyzátor elektrických sítí
b) PEL 103 - Záznamník kvality elektrické energie
c) Fluke 345 - Klešťový měřič kvality elektrické energie

Obr. 3 - Příklady ručních analyzátorů (převzato z [11])

2.2 Přenosné analyzátory

Do této kategorie spadají analyzátory ve většině případů určené k delšímu měření kvality sítě.

Svou konstrukcí jsou určeny k měření v různých místech distribuční sítě. Většinou mívají velký rozsah jak na napěťových, tak i proudových vstupech, což umožňuje uskutečňovat měření na všech napěťových hladinách sítě. Ovládání a komunikace s analyzátozem je vyřešena možností spojení s PC pomocí komunikačního rozhraní. Některé analyzátory v této kategorii mají vlastní ovládací a zobrazovací rozhraní.

U některých typů přenosných analyzátorů se setkáváme s absencí některých prvků, jako jsou například displeje nebo pevné připojení kabelů. Výrobci tak činí z důvodů maximální možnosti snížení ceny. Přístroje jsou díky tomu nejel levnější, ale i menší a méně nápadné, což minimalizuje pozornost případných zlodějů těchto drahých zařízení.



a)



b)

a) PNA-571 - Analyzátor kvality energie

b) ENA-330 - Sdružený analyzátor sítě

Obr. 4 - Příklady přenosných analyzátorů (převzato z [4] a [5])

2.3 Stacionární analyzátory

Analyzátory sítě stacionárního typu jsou určeny k permanentnímu monitorování

kvality v důležitých místech sítě. Tento typ analyzátorů bývá nejčastěji umístěn v místech, kde dochází k předávání energie z distribuční sítě. Proud není měřen pomocí klešťových měřičů, ale obvykle jsou využívány měřicí transformátory proudu. Konstrukční parametry jsou podřízeny místu, kde jsou analyzátory instalovány. Konstrukce ve většině případů umožňuje připevnění na DIN lištu. Vlastností stacionárních analyzátorů jsou srovnatelné s analyzátory přenosnými.



a)



b)

a) UP-2210 - Stacionární analyzátor kvality elektrické sítě

b) ENA441 – Analyzátor sítě s průmyslovým počítačem

Obr. 5 - Příklady stacionárních analyzátorů

2.4 Elektroměry s možností sledování kvality

Elektroměry mohou měřit nejen spotřebu elektrické energie, ale i její spotřebu. Tyto analyzátory musí umět měřit náměti s dostačující frekvencí tzn. minimálně dvakrát během jedné periody signálu, a to na všech fázích zároveň. Tomu odpovídá měřicí frekvence 1200 vzorků za sekundu počítáme-li se signálem 50 Hz. Takto vysoké vzorkovací frekvence jsou potřebné pro provádění měření třídy A.

Při překročení mezí určených normou ČSN EN 50 160 elektroměr vytvoří událost zaznamenávající překročení limitu. Elektroměr může sledovat hned několik parametrů najednou v závislosti na své konstrukci a počtu registrů. Standardizovaným způsobem zaznamenání události jsou tzv. OBIS kódy, které elektroměr ukládá do své paměti. Samotný OBIS kód obsahuje časovou značku, druh události a velikost překročení limitu.

2.4.1 OBIS kódy

Asociace uživatelů DLMS vyvinula a podporuje řadu norem IEC 62056 DLMS/COSEM dle IEC T13, které zprostředkovávají normalizační rámec pro inteligentní vyhodnocení naměřených hodnot. Účelem zmíněného rámce je využití objektově orientovaného datového modelu bez závislosti na komunikačním mediu umožňujícím spolupráci mezi jednotlivými zařízeními.

Některé navrhované technologie se sdělovacími prostředky závislými na specifikaci nižší vrstvy mohou být snadno začleněny do rámce IEC 62056. Datový model určuje, jaké informace musí být obsaženy při každém druhu použití. Například odečet podle vyhodnocených dat, řízení dodávek, monitoring událostí a v neposlední řadě sledování kvality elektrické energie.

2.5 Vybrané přístroje pro testování navržené metodiky

Tato podkapitola je věnována výběru přístrojů, na které bude aplikována metodika testující kvalitu elektrické energie s ohledem na napěťové parametry. Konkrétně přepětí, přerušení a podpětí. Podkapitola sdružuje důležité technické parametry přístrojů určených pro sledování kvality.

2.5.1 ENA330



Obr. 6 - Analyzátor ENA330

Tab. 5 - Technické parametry ENA330

Počet napěťových vstupů	4
Vstupní rozsahy napětí	450 V, 230 V, 110 V, 65 V
Přetížitelnost	1 kV
Izolační pevnost	4,2 kV RMS při 50 Hz po dobu 1 min
Šířka pásma	45 Hz až 2,5 kHz
Přesnost	±0,1%
Zapojení	1, 3, 3f+N, hvězda, trojúhelník a Aron. zapojení

Počet proudových vstupů	4
Vstupní rozsahy proudu	V závislosti na proudových kleštích Např. AMPFLEX: 30 A, 300 A, 3kA; MN71: 2 A, 1 A
Šířka pásma	45 Hz až 2,5 kHz
Přesnost	V závislosti na proudových kleštích Např. AMPFLEX: 1 %, MN71: 0,5%
Rozhraní	USB, Ethernet, VGA, EXT. AUX
A/D převodník	16 bitů
Vzorkovací frekvence	9600 S/s, 19200 S/s, 38400 S/s

2.5.2 ENA075 (ENA175)



Obr. 7- Analyzátor ENA075

Tab. 6 - Technické parametry ENA075

Počet napěťových vstupů	3
Vstupní rozsahy napětí	120 V nebo 690 V
Přechodná napětí	6 kV
Přesnost	±0,1%
Počet proudových vstupů	3
Vstupní rozsahy proudu	1 A nebo 5 A
Digitální vstupy	2
Rozhraní	RS232

2.5.3 SL7000



Obr. 8 - Elektroměr SL7000

Tab. 7 - Technické parametry SL7000

Počet napěťových vstupů	3
Vstupní rozsahy napětí	od 3 × 58/100 V až do 3 × 240/415 V
Přesnost	Třída 1 podle IEC
Počet proudových vstupů	6 (3 × I)
Vstupní rozsahy proudu	5 A ($I_{\max} = 120 \text{ A}$)
Rozhraní	Optické, RS232C

2.5.4 HP 6834B



Obr. 9 - Zdroj HP6834B

Tab. 8 – Technické parametry 6834B

Fáze	3	1
Maximální rozsahy výstupu		
RMS napětí	150 V nízký rozsah 300 V vysoký rozsah	
Výkon	1,5 kVA/fáze	4,5 kVA
RMS proud	10 A nízký rozsah 5 A vysoký rozsah	30A nízký rozsah 15 A vysoký rozsah
Špičkový proud	40 A nízký rozsah 20 A vysoký rozsah	120 A nízký rozsah 60 A vysoký rozsah
Crest faktor	4	4
Frekvenční rozsah výstupu	45 Hz – 5 kHz	
Zvlnění a šum konstantního napětí	- 60 dB (20 kHz – 10 MHz)	
Regulace zátěže	0,5 %	
Linková regulace	0,1 %	
Maximální harmonické zkreslení	1 % (45 Hz – 1 kHz) 1 % + 1 %/kHz (>1 kHz – 5 kHz)	
Programová přesnost (@25°C±5°C)		
RMS napětí	0,15 % + 0,3 V (45 – 100 Hz) 0,5 % + 0,3 V (>100 – 500 Hz) 1 % + 0,3 V (>500 – 5 kHz)	
Frekvence	0,01 % + 10 μHz 0,1° (45 – 100 Hz) 1° (>100 – 1 kHz) 1° + 1%/kHz (>1k – 5 kHz)	
Fáze (třífázový mód)		N/A
Přesnost měření (@25°C±5°C)		
RMS napětí	0,05 % + 250 mV (45 Hz – 1 kHz) 0,05 % + 0,1%/kHz + 250 mV (>1 kHz – 5 kHz)	
RMS proud	0,1 % + 25 mA	0,1 % + 50 mA
Frekvence	0,01 % + 0,01 Hz	0,01 % + 0,01 Hz
Výkon (VA)	0,15 % + 3 VA	0,15 % + 5 VA
Výkon (W)	0,15 % + 3 W	0,15 % + 5 W
Účinnost	0,01	0,01

3 Návrh testovacího průběhu

Pro potřeby testovací metodiky je nutné navrhnout průběh napětí, který otestuje možnosti měřících přístrojů v oblasti poklesů, přerušení a přepětí v síti. Průběh by měl být navržen tak, aby otestoval nejen schopnost měřících přístrojů zaznamenat tyto události s ohledem na hladinu napětí, ale je důležité brát zřetel i na délku trvání jednotlivých událostí. Veškeré hladiny charakterizující napětí musí být v souladu s normou ČSN EN 50160 ed. 3[1].

3.1 Důležité hladiny napětí v testovacím průběhu

Podle normy ČSN EN 50160 ed. 3[1] se změny napětí považují za události v případě, že překročí tolerovanou odchylku danou procentuálním poměrem vůči $U_n = 230 \text{ V}$. Hodnota napětí se vyhodnocuje každou půlperiodou.

- pokles hodnoty napětí v síti pod 90 % jmenovitého napětí U_n
 - $U_n < 207 \text{ V}$
- přerušení hodnoty napětí v síti nastane v případě poklesu pod 5 % jmenovitého napětí U_n
 - $U_n < 11,5 \text{ V}$
- přepětí v případě překročení 110 % jmenovitého napětí U_n
 - $U_n > 253 \text{ V}$

3.2 Délky změn napětí pro testovací průběh

V závislosti na měřících přístrojích vybraných pro testování metodiky musí testovací průběh obsahovat široké spektrum trvání událostí pro otestování, jak pomalých, tak i velmi rychlých změn napětí. Délky jednotlivých událostí musí být voleny v závislosti na vzorkovací frekvenci přístrojů, měřící periodě přístrojů a požadavcích normy.

3.3 Návrh testovacího průběhu

Testovací průběh se skládá ze 4 částí, které mají otestovat přístroje na různé délky události při stejných úrovních napětí. Napětí bylo voleno tak, aby korelovalo s limitními hodnotami uvedenými v normě ČSN EN 50160 ed. 3[1]. Délky jednotlivých událostí byly zvoleny tak, aby otestovaly přístroje na krátkodobé události o délce 100 ms – 500 ms až po události o délce 1 s – 30 s. Každá část průběhu je rozdělena na 3 další části podle testovaných událostí. Úroveň napětí testovacího průběhu vždy prochází přes limitní hodnotu napětí podle normy ČSN EN 50160 ed. 3[1]. Mezi každou událostí je navrženo ustálení napětí na ideální hodnotu napětí $U_{ef} = 230 \text{ V}$. K tomu ustálení musí dojít, aby měřící přístroje mohly rozeznat začátky a konce událostí.

3.3.1 Přepětí

Testovací průběh postupně nabývá hodnot 260 V, 255 V a 253 V, což je limitní hodnota podle normy. Jako poslední úroveň napětí je zvolena hladina 251 V, která již podle normy nesplňuje parametry události, ale umožňuje otestovat, zda měřící přístroj nevyhodnocuje falešné události.

3.3.2 Podpětí

Testovací průběh postupně nabývá hodnot 220 V, 205 V a 207 V, což je limitní hodnota podle normy. Jako poslední úroveň napětí je zvolena hladina 209 V, která plní stejnou funkci, jako poslední úroveň napětí v předchozí kapitole (falešné události).

3.3.3 Přerušení a silná podpětí

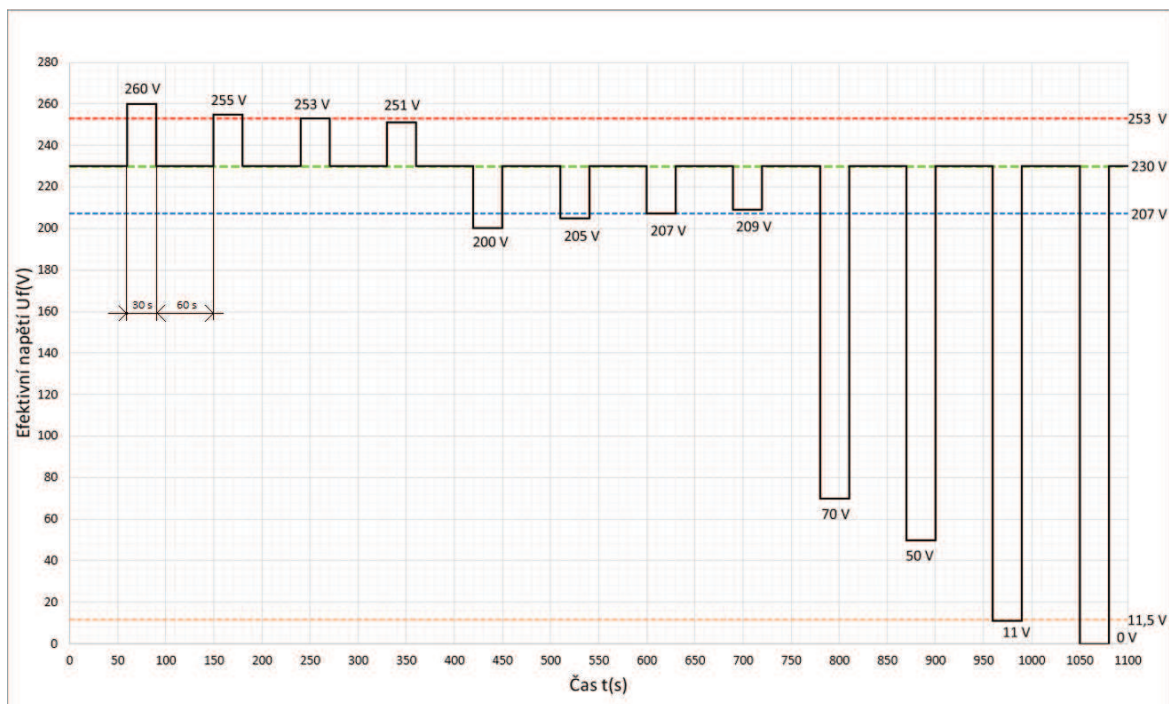
Poslední část průběhu byla navržena podle poněkud odlišné filozofie, než tomu bylo u předchozích podkapitol. Tato část musí otestovat přístroje na záznam událostí v rozmezí 0 V – 200 V. Z tohoto důvodu bylo voleno testovací napětí s větším rozptylem jednotlivých hladin. Testovací průběh postupně nabývá hodnot 70 V, 50 V, 11 V a 0V, kde první dvě události splňují parametry podpětí a zbývající dvě splňují parametry přerušení napětí v síti.

3.4 Zobrazení testovacího průběhu napětí v grafu

V následujících grafech je zobrazen testovací průběh rozdělen do čtyř grafů podle délky testových událostí. Každý graf obsahuje vyznačené limitní hodnoty podle normy ČSN EN 50160 ed. 3[1] a samotný průběh testovacího napětí. Ke každému grafu náleží tabulka, kde je testovací průběh popsán číselně a barevně rozdělen podle legendy znázorněné na Obr. 9. Testovací průběh se skládá z 97 změn efektivního napětí a trvá 1824,2 s. Délka testovacího průběhu nemusí být pevná z důvodu prodlužování a zkracování první a poslední změny napětí $U_{ef} = 230$ V, aby mohlo dojít započítání měření na všech přístrojích a naběhnutí zdroje.

Legenda:	čas	U_{ef}	%
	pomalé změny	přepětí	ideální hodnota napětí
	středně rychlé změny	podpětí	hraniční hodnota podle normy
	rychlé změny	silné podpětí a přerušení	
	velmi rychlé změny		Délka průběhu (s):
			1824,2

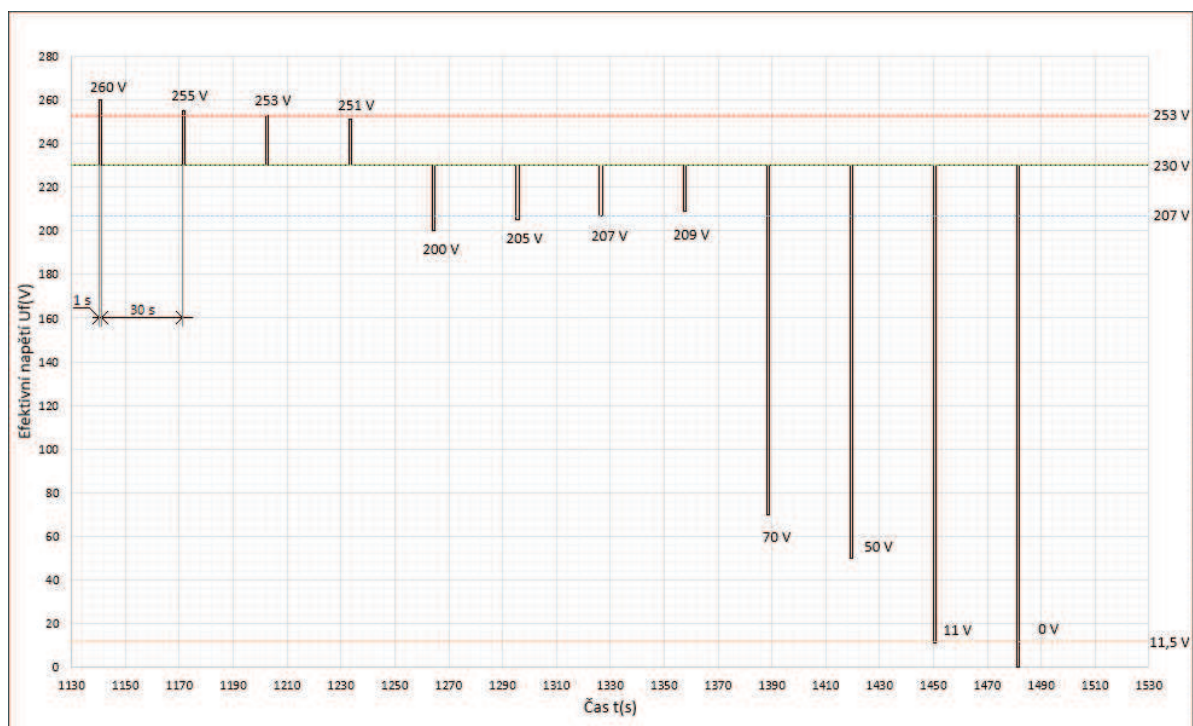
Obr. 10 - Legenda popisující barevné dělení buněk



Obr. 11 - Část testovacího průběhu na pomalé změny

Tab. 9 - Parametry testovacího průběhu (pomalé změny)

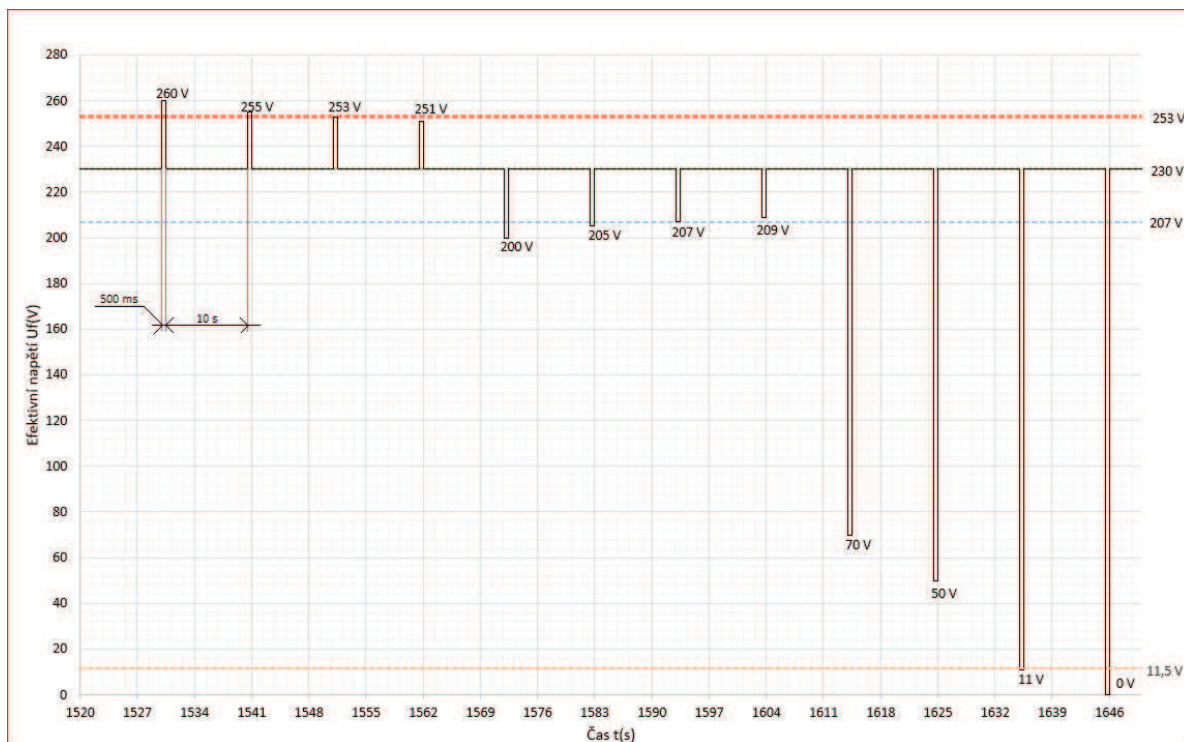
pořadí	čas(s)	U _{ef} (V)	%
1	60	230	100,0%
2	30	260	113,0%
3	60	230	100,0%
4	30	255	110,9%
5	60	230	100,0%
6	30	253	110,0%
7	60	230	100,0%
8	30	251	109,1%
9	60	230	100,0%
10	30	200	87,0%
11	60	230	100,0%
12	30	205	89,1%
13	60	230	100,0%
14	30	207	90,0%
15	60	230	100,0%
16	30	209	90,9%
17	60	230	100,0%
18	30	70	30,4%
19	60	230	100,0%
20	30	50	21,7%
21	60	230	100,0%
22	30	11	4,8%
23	60	230	100,0%
24	60	0	0,0%
25	60	230	100,0%



Obr. 12 - Část testovacího průběhu na středně rychlé změny

Tab. 10 - Parametry testovacího průběhu (středně rychlé změny)

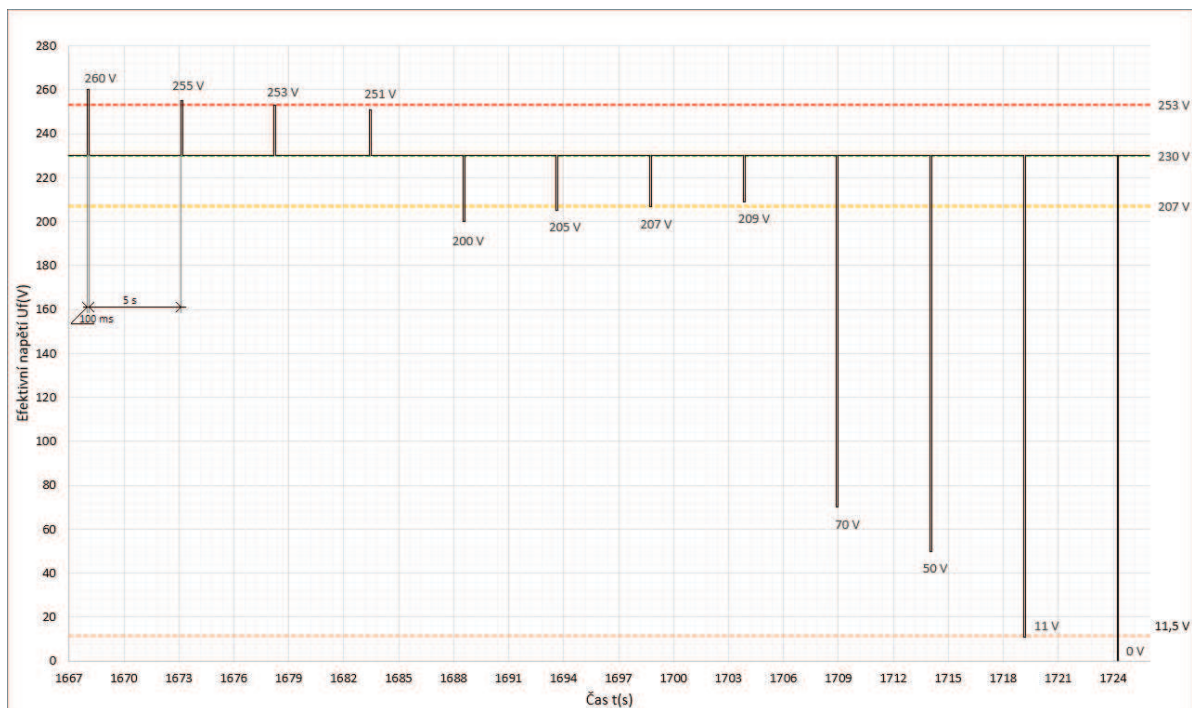
pořadí	čas(s)	U _{ef} (V)	%
26	1	260	113,0%
27	30	230	100,0%
28	1	255	110,9%
29	30	230	100,0%
30	1	253	110,0%
31	30	230	100,0%
32	1	251	109,1%
33	30	230	100,0%
34	1	200	87,0%
35	30	230	100,0%
36	1	205	89,1%
37	30	230	100,0%
38	1	207	90,0%
39	30	230	100,0%
40	1	209	90,9%
41	30	230	100,0%
42	1	70	30,4%
43	30	230	100,0%
44	1	50	21,7%
45	30	230	100,0%
46	1	11	4,8%
47	30	230	100,0%
48	1	0	0,0%
49	30	230	100,0%



Obr. 13 - Část testovacího průběhu na rychlé změny

Tab. 11 - Parametry testovacího průběhu (rychlé změny)

pořadí	čas(s)	Uef(V)	%
50	0,5	260	113,0%
51	10	230	100,0%
52	0,5	255	110,9%
53	10	230	100,0%
54	0,5	253	110,0%
55	10	230	100,0%
56	0,5	251	109,1%
57	10	230	100,0%
58	0,5	200	87,0%
59	10	230	100,0%
60	0,5	205	89,1%
61	10	230	100,0%
62	0,5	207	90,0%
63	10	230	100,0%
64	0,5	209	90,9%
65	10	230	100,0%
66	0,5	70	30,4%
67	10	230	100,0%
68	0,5	50	21,7%
69	10	230	100,0%
70	0,5	11	4,8%
71	10	230	100,0%
72	0,5	0	0,0%
73	10	230	100,0%



Obr. 14 - Část testovacího průběhu na velmi rychlé změny

Tab. 12 - Parametry testovacího průběhu (velmi rychlé změny)

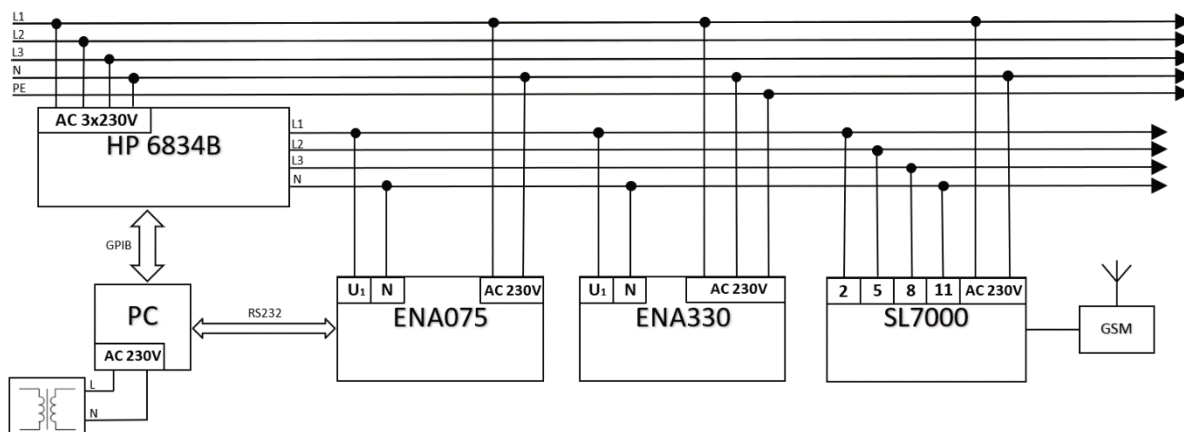
pořadí	čas(s)	U _{ef} (V)	%
74	0,1	260	113,0%
75	5	230	100,0%
76	0,1	255	110,9%
77	5	230	100,0%
78	0,1	253	110,0%
79	5	230	100,0%
80	0,1	251	109,1%
81	5	230	100,0%
82	0,1	200	87,0%
83	5	230	100,0%
84	0,1	205	89,1%
85	5	230	100,0%
86	0,1	207	90,0%
87	5	230	100,0%
88	0,1	209	90,9%
89	5	230	100,0%
90	0,1	70	30,4%
91	5	230	100,0%
92	0,1	50	21,7%
93	5	230	100,0%
94	0,1	11	4,8%
95	5	230	100,0%
96	0,1	0	0,0%
97	100	230	100,0%

4 Testování metodiky měření na vybraných přístrojích

Pro ověření správnosti metodiky měření je potřeba metodiku otestovat na vybraných přístrojích. Testování spočívá v naprogramování testovacího průběhu, realizaci zapojení jednotlivých přístrojů, konfiguraci v rozhraní měřicích přístrojů a samotné měření testovacího průběhu. Metodika měření je navržena tak, aby bylo možno otestovat více přístrojů najednou. Všechny přístroje budou mít tedy stejné podmínky při testování na změny napětí. Elektroměr SL7000 z důvodu omezeného počtu registrů určených pro ukládání událostí nebude testován na události o délce trvání 100 ms. Dalším důvodem je technické omezení elektroměru, které neumožňuje vyhodnocování velmi krátkých změn napětí.

4.1 Schéma zapojení

Schéma na Obr. 11 znázorňuje zapojení jednotlivých přístrojů na měřicí fáze, jejich napájení a komunikační rozhraní určené pro řízení nebo vyčítání dat. Zdroj HP6834B je napájen čtyř vodičově ze sítě TN-C a jeho výstupem jsou 4 svorky na které jsou připojeny měřicí přístroje. Zdroj je propojen s PC pomocí sběrnice GPIB. PC je napájen pomocí oddělovacího transformátoru, které zajišťují galvanické oddělení nulového vodiče. Všechny tři měřicí přístroje jsou napájeny ze sítě 230 V. Analyzátor ENA075 je propojen s PC pomocí sériové linky RS232. Všechny přístroje jsou připojeny tak, aby měřily jednu testovací fázi. Elektroměr SL7000 má připojeny všechny tři fáze z důvodu omezené paměti vyhrazené pro záznam událostí. Nepřipojení těchto fází by zapříčinilo záznam přerušení napětí.



Obr. 15 - Schéma zapojení měření



Obr. 16 - Ukázka reálného zapojení

4.2 Programování měřicího průběhu

Programovatelný zdroj HP 6834B disponuje komunikačním rozhraním GPIB, které umožňuje řízení zdroje pomocí PC. Zdroj lze ovládat prostřednictvím programu AC Source GUI. Program disponuje rozhraním pro programování výstupního signálu s ohledem na celou řadu parametrů napětí a proudu.

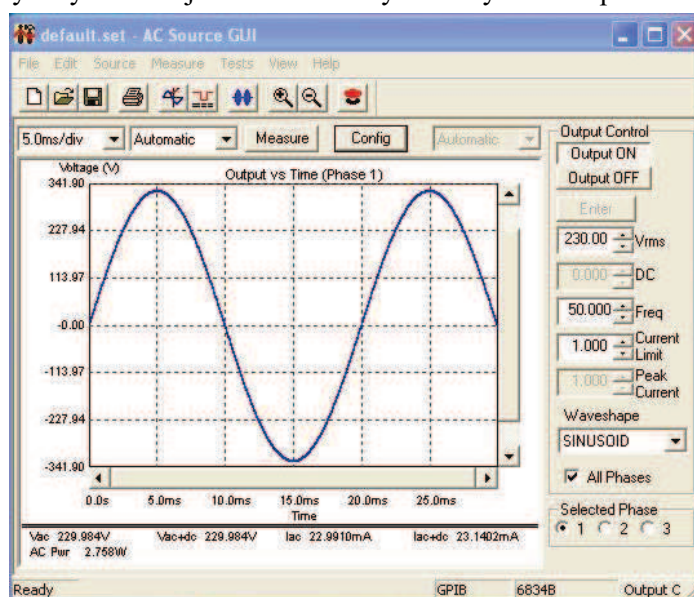
4.2.1 Programování

Programování zdroje spočívá v definování každé změny signálu s ohledem na různé parametry napětí a proudu. Pro potřeby bakalářské práce je nutné zdroj naprogramovat tak, aby generoval nezkreslený harmonický průběh napětí (**Waveform**) o frekvenci 50 Hz (**Freq**). Následné změny signálu jsou definovány časovými značkami (**Elapsed time / Step duration**). Jednotlivé změny efektivního napětí je nutné nastavit pro každou požadovanou změnu (**Volts**).

Step#	Elapsed Time (s)	Step Duration (s)	Volts (V)	V Slew (V/s)	Freq (Hz)	Freq Slew (Hz/s)	DC Offset (V)	DC Slew (V/s)	Phase (deg)	Peak Curr (A)	Waveform
1	0	100	230	9.9e+037	50	9.9e+037	0	0	0	0	SINUSOID
2	100	30	260	9.9e+037	50	9.9e+037	0	0	0	0	SINUSOID
3	130	60	230	9.9e+037	50	9.9e+037	0	0	0	0	SINUSOID
4	190	30	255	9.9e+037	50	9.9e+037	0	0	0	0	SINUSOID
5	220	60	230	9.9e+037	50	9.9e+037	0	0	0	0	SINUSOID
6	280	30	253	9.9e+037	50	9.9e+037	0	0	0	0	SINUSOID
7	310	60	230	9.9e+037	50	9.9e+037	0	0	0	0	SINUSOID
8	370	30	251	9.9e+037	50	9.9e+037	0	0	0	0	SINUSOID
9	400	60	230	9.9e+037	50	9.9e+037	0	0	0	0	SINUSOID
10	460	30	200	9.9e+037	50	9.9e+037	0	0	0	0	SINUSOID

Obr. 17 - Programovací tabulka pro prvních 10 změn výstupního signálu

Dále je nutné nastavit v ovládacím rozhraní parametry výstupního napětí $U_{ef} = 230 \text{ V}$ a $f = 50 \text{ Hz}$ (**Output Control**). Nastavení těchto parametrů zajistí, že před začátkem a po skončení měřicího průběhu nedojde ke generování průběhu mimo limity normy. V opačném případě by mohlo dojít k vytvoření nežádané události a jejímu následnému uložení do paměti měřicího přístroje. Zdroj je zároveň měřicí přístroj sledující vlastní výstup s přesností o řád vyšší, než je přesnost testovaných přístrojů. Při měření by tedy mělo dojít k zanedbatelným odchylkám od požadovaných hodnot.



Obr. 18 - AC Source GUI

5 Vyhodnocení naměřených hodnot

Pro vyhodnocení naměřených dat je nezbytné v první řadě data vyčíst a následně upravit do jednotného formátu. Následná surová data je potřeba zpracovat do přijatelné formy. Pro potřeby této práce bylo zvoleno zpracování formou tabulek porovnávajících testující a naměřené hodnoty. Dále byl vytvořen soubor grafů, který přehledně znázorňuje zaznamenané události v závislosti na testovacím průběhu.

5.1 Vyčítání naměřených hodnot

Každý z měřících přístrojů disponuje jiným způsobem vyčítání naměřených dat. Všechny přístroje umožňují vyčtení dat v textovém formátu .txt, .csv nebo .xml., což je pro potřeby této práce ideální.

5.1.1 Vyčítání hodnot z ENA330

Analyzátor ENA330 umožňuje připojení klávesnice, myši a monitoru a následné vyčtení dat v prostředí Windows XP. Analyzátor do každého souboru vytvoří hlavičku s pořadovým číslem události, datem a časem, fází, úrovni napětí zaznamenané události a dobou trvání události. Na Obr. 14 je znázorněn neupravený formát vyčtených dat z analyzátoru ENA330.

č.	Datum	Čas	Fáze	Extrém [V]	Délka [s]
1.	14.3.2019	15:10:39	1	260,2	29,99
2.	14.3.2019	15:12:09	1	255,1	30,00
3.	14.3.2019	15:13:39	1	253,2	29,98
4.	14.3.2019	15:16:39	1	199,9	29,99
5.	14.3.2019	15:18:09	1	204,9	30,00
6.	14.3.2019	15:19:39	1	206,9	29,98
7.	14.3.2019	15:22:39	1	67,7	30,01
8.	14.3.2019	15:24:09	1	47,5	30,02
9.	14.3.2019	15:25:39	1	9,1	30,00
10.	14.3.2019	15:27:09	1	0,0	30,17
11.	14.3.2019	15:28:39	1	260,1	0,99
12.	14.3.2019	15:29:10	1	255,1	0,99
13.	14.3.2019	15:29:41	1	253,1	0,70
14.	14.3.2019	15:30:43	1	199,9	0,99

Obr. 19 - Ukázka formátu vyčtených dat z ENA330

5.1.2 Vyčítání hodnot z ENA075

Analyzátor ENA075 disponuje komunikačním rozhraním RS232, které umožňuje připojení k PC a následné vyčtení dat v softwaru PAX. Z důvodu nemožnosti oddělení jednotlivých měřících cyklů je formát dat zmatečný a vyžaduje značné úsilí při separaci užitečných hodnot. Data jsou však zapsána v podobném formátu jako u ENA330. Na Obr. 15 je znázorněn neupravený formát vyčtených dat z analyzátoru ENA075.

1433	03/18/19	12:52:31.530	PQE7:2435	Temporary overvoltage	V1	260.4	1.13	0:00:29.981000
1434	03/18/19	12:54:01.502	PQE7:2436	Temporary overvoltage	V1	255.4	1.11	0:00:29.981000
1435	03/18/19	12:55:31.921	PQE7:2437	Temporary overvoltage	V1	253.4	1.10	0:00:29.701000
1436	03/18/19	12:58:31.594	PQE5:2438	Voltage dip	V1	199.9	0.87	0:00:29.980000
1437	03/18/19	13:00:01.574	PQE5:2439	Voltage dip	V1	204.9	0.89	0:00:29.981000
1438	03/18/19	13:01:36.654	PQE5:2440	Voltage dip	V1	207	0.90	0:00:24.872000
1439	03/18/19	13:04:31.489	PQE5:2441	Voltage dip	V1	67.8	0.29	0:00:30.168000
1440	03/18/19	13:06:01.628	PQE5:2442	Voltage dip	V1	47.3	0.21	0:00:30.001000
1441	03/18/19	13:07:31.601	PQE5:2443	Voltage dip	V1	9.1	0.04	0:00:30.001000
1442	03/18/19	13:09:01.583	PQE5:2444	Voltage dip	V1	0	0.00	0:00:30.151000

Obr. 20 - Ukázka formátu vyčtených dat z ENA075

5.1.3 Vyčítání hodnot z SL7000

Elektroměr SL7000 disponuje GSM modulem, který umožňuje vzdálené připojení a následné vyčtení dat. Elektroměr i GSM modul byl zapůjčen od společnosti ČEZ Distribuce a.s., která disponuje technologií pro zmíněné vyčítání. Každé měření probíhalo ve spolupráci se zaměstnancem firmy ČEZ Distribuce a.s., který se k elektroměru připojil a zaslal vyčtená data ve formátu .xlm. Na Obr. 16 je znázorněn neupravený formát vyčtených dat z elektroměru SL7000.

Phase	Duration	Amplitude	Date	Time	ID
1	0,52sec	48,6 V	20. března 2019	08:49:55	21071
1	0,52sec	69,3 V	20. března 2019	08:49:44	21067
1	0,44sec	205,6 V	20. března 2019	08:49:13	21059
1	0,48sec	200,7 V	20. března 2019	08:49:02	21055
1	30,04sec	50 V	20. března 2019	08:44:20	21028
1	30sec	70 V	20. března 2019	08:42:50	21024
1	21,68sec	206,9 V	20. března 2019	08:39:50	21018
1	29,97sec	205,3 V	20. března 2019	08:38:20	21014
1	29,97sec	200,2 V	20. března 2019	08:36:50	21010
1	4,93sec	205,3 V	19. března 2019	08:45:04	20855

Obr. 21 - Ukázka formátu vyčtených dat z SL7000

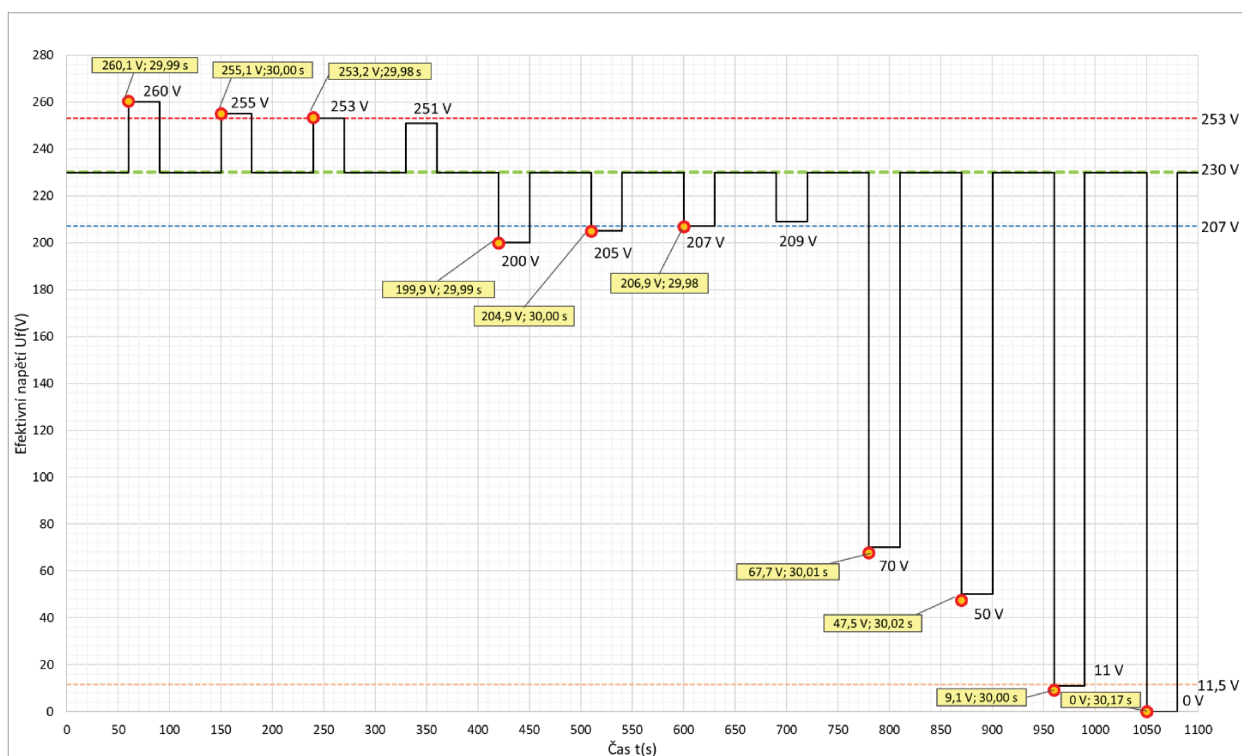
5.2 Vyhodnocení naměřených hodnot času a napětí

Pro každý přístroj byly vytvořeny grafy popisující záznam událostí na základě změn napětí testovacího průběhu. Každá zaznamenaná událost je v grafu vyznačena výrazným bodem. Každý z těchto bodů má vlastní štítek s údajem o délce trvání události a zaznamenané úrovni napětí. V grafu jsou dále vyznačeny limitní hodnoty pro přepětí, podpětí a přerušení. Ke každému grafu byla vypracována tabulka porovnávající naměřené a testovací hodnoty. Tabulka dále obsahuje výpočet rozdílu těchto hodnot s absolutním i procentuálním rozdílem. Buňky popisující rozdíl naměřených a testovacích jsou barevně rozděleny pomocí podmíněného formátování, které umožňuje libovolné změny limitů na základě přesnosti přístrojů, požadavků normy nebo jiných individuálních parametrů. Vytvořené tabulky mají nastaveny změnu barvy podle odchylky pro $U_{ef}(\pm 0,1 \text{ V})$ a čas $(\pm 0,1 \text{ s})$ a procentuální rozdíl $U_{ef}(\pm 0,1 \%)$ a čas $(\pm 1 \%)$. Tabulky i grafy byly vytvořeny v tabulkovém procesoru MS Excel. Soubory tabulek i grafů jsou k dispozici v přílohách, tudíž při opakování metodiky měření pro další přístroje stačí přepsat naměřené hodnoty.

5.2.1 Vyhodnocení dat z ENA330

Tab. 13 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA330 (pomalé změny)

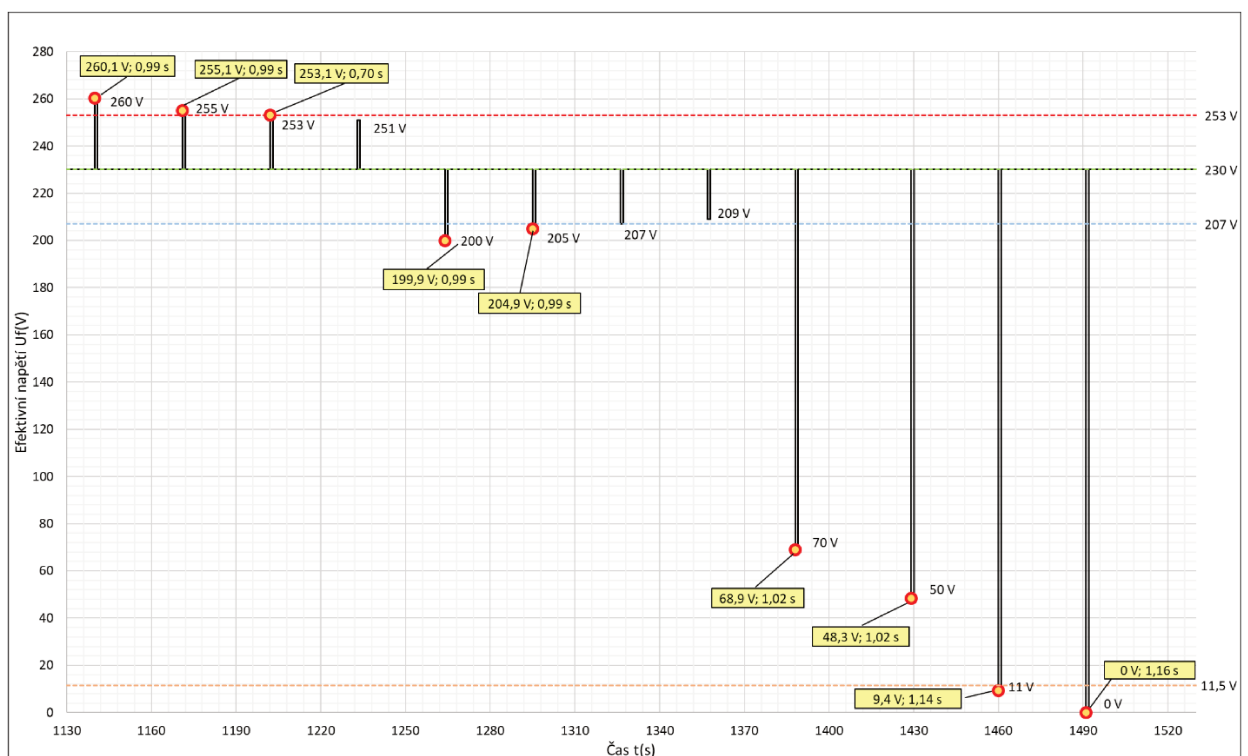
testovací průběh			ENA330		rozdíl (abs. hodnota)		rozdíl (proc.hodnota)	
pořadí	čas(s)	Uef(V)	Uef(V)	čas(s)	Uef(V)	čas(s)	Uef(%)	čas(%)
1	30	260	260,2	29,99	0,20	-0,01	0,077%	-0,033%
2	30	255	255,1	30,00	0,10	0,00	0,039%	0,000%
3	30	253	253,2	29,98	0,20	-0,02	0,079%	-0,067%
4	30	251	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
5	30	200	199,9	29,99	-0,10	-0,01	-0,050%	-0,033%
6	30	205	204,9	30,00	-0,10	0,00	-0,049%	0,000%
7	30	207	206,9	29,98	-0,10	-0,02	-0,048%	-0,067%
8	30	209	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
9	30	70	67,7	30,01	-2,30	0,01	-3,286%	0,033%
10	30	50	47,5	30,02	-2,50	0,02	-5,000%	0,067%
11	30	11	9,1	30,00	-1,90	0,00	-17,273%	0,000%
12	30	0	0	30,17	0,00	0,17	0,000%	0,567%



Obr. 22- Graf vyhodnocených hodnot ENA330 (pomalé změny)

Tab. 14 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA330 (středně rychlé změny)

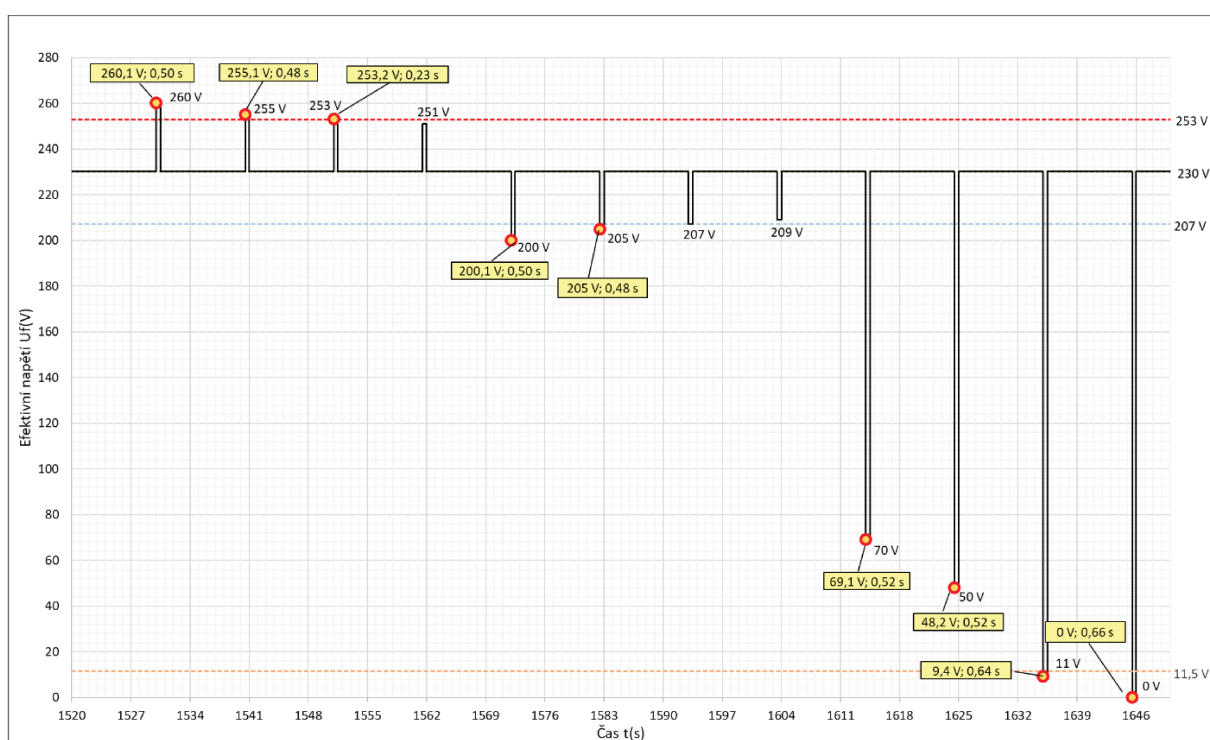
testovací průběh			ENA330		rozdíl (abs. hodnota)		rozdíl (proc.hodnota)	
pořadí	čas(s)	Uef(V)	Uef(V)	čas(s)	Uef(V)	čas(s)	Uef(%)	čas(%)
1	1	260	260,1	0,99	0,10	-0,01	0,038%	-1,000%
2	1	255	255,1	0,99	0,10	-0,01	0,039%	-1,000%
3	1	253	253,1	0,70	0,10	-0,30	0,040%	-30,000%
4	1	251	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
5	1	200	199,9	0,99	-0,10	-0,01	-0,050%	-1,000%
6	1	205	204,9	0,99	-0,10	-0,01	-0,049%	-1,000%
7	1	207	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
8	1	209	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
9	1	70	68,7	1,02	-1,30	0,02	-1,857%	2,000%
10	1	50	48,2	1,02	-1,80	0,02	-3,600%	2,000%
11	1	11	9,4	1,14	-1,60	0,14	-14,545%	14,000%
12	1	0	0	1,16	0,00	0,16	0,000%	16,000%



Obr. 23- Graf vyhodnocených hodnot ENA330 (středně rychlé změny)

Tab. 15 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA330 (rychlé změny)

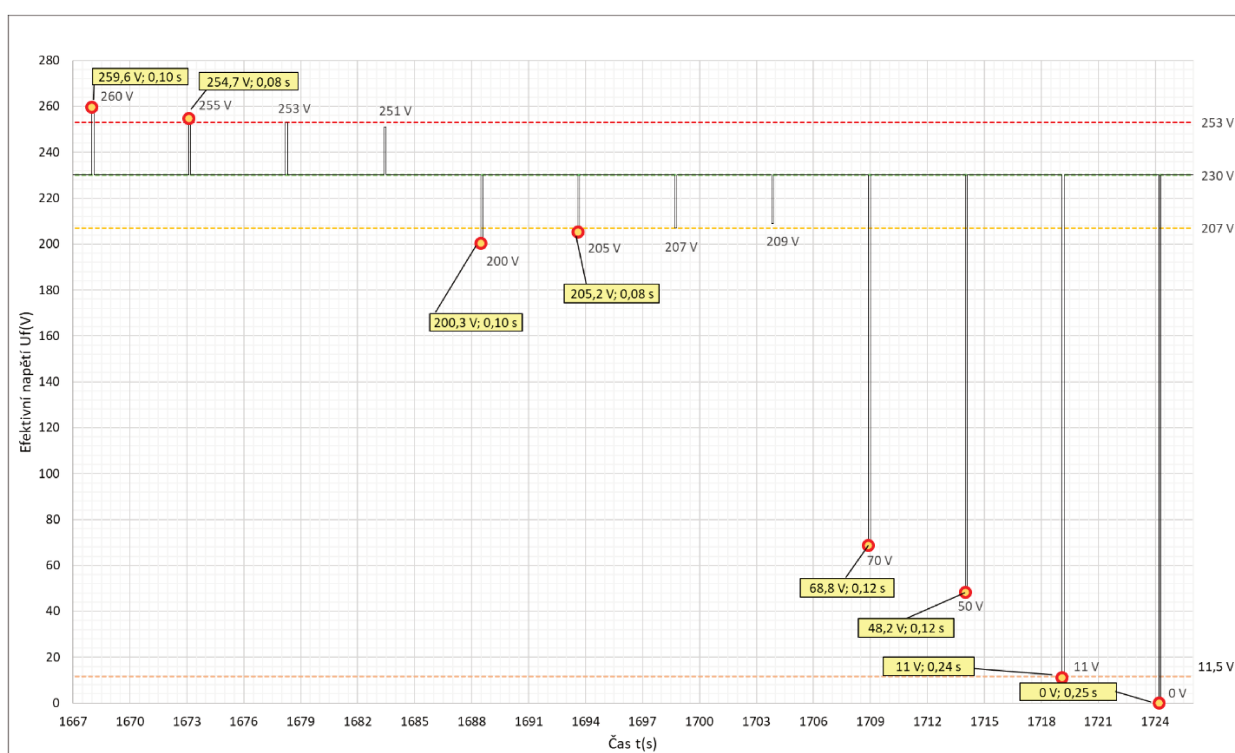
testovací průběh			ENA330		rozdíl (abs. hodnota)		rozdíl (proc.hodnota)	
pořadí	čas(s)	Uef(V)	Uef(V)	čas(s)	Uef(V)	čas(s)	Uef(%)	čas(%)
1	0,5	260	260,1	0,50	0,10	0,00	0,038%	0,000%
2	0,5	255	255,1	0,48	0,10	-0,02	0,039%	-4,000%
3	0,5	253	253,2	0,23	0,20	-0,27	0,079%	-54,000%
4	0,5	251	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
5	0,5	200	200,1	0,50	0,10	0,00	0,050%	0,000%
6	0,5	205	205	0,48	0,00	-0,02	0,000%	-4,000%
7	0,5	207	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
8	0,5	209	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
9	0,5	70	69,7	0,52	-0,30	0,02	-0,429%	4,000%
10	0,5	50	47,5	0,52	-2,50	0,02	-5,000%	4,000%
11	0,5	11	9,1	0,64	-1,90	0,14	-17,273%	28,000%
12	0,5	0	0	0,66	0,00	0,16	0,000%	32,000%



Obr. 24- Graf vyhodnocených hodnot ENA330 (rychlé změny)

Tab. 16 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA330 (velmi rychlé změny)

testovací průběh			ENA330		rozdíl (abs. hodnota)		rozdíl(proc.hodnota)	
pořadí	čas(s)	Uef(V)	Uef(V)	čas(s)	Uef(V)	čas(s)	Uef(%)	čas(%)
1	0,1	260	259,6	0,10	-0,40	0,00	-0,154%	0,000%
2	0,1	255	254,7	0,08	-0,30	-0,02	-0,118%	-20,000%
3	0,1	253	253,2	0,10	0,20	0,00	0,079%	0,000%
4	0,1	251	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
5	0,1	200	200,3	0,08	0,30	-0,02	0,150%	-20,000%
6	0,1	205	205,2	0,12	0,20	0,02	0,098%	20,000%
7	0,1	207	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
8	0,1	209	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
9	0,1	70	68,8	0,12	-1,20	0,02	-1,714%	20,000%
10	0,1	50	48,2	0,12	-1,80	0,02	-3,600%	20,000%
11	0,1	11	11	0,24	0,00	0,14	0,000%	140,000%
12	0,1	0	0	0,25	0,00	0,15	0,000%	150,000%

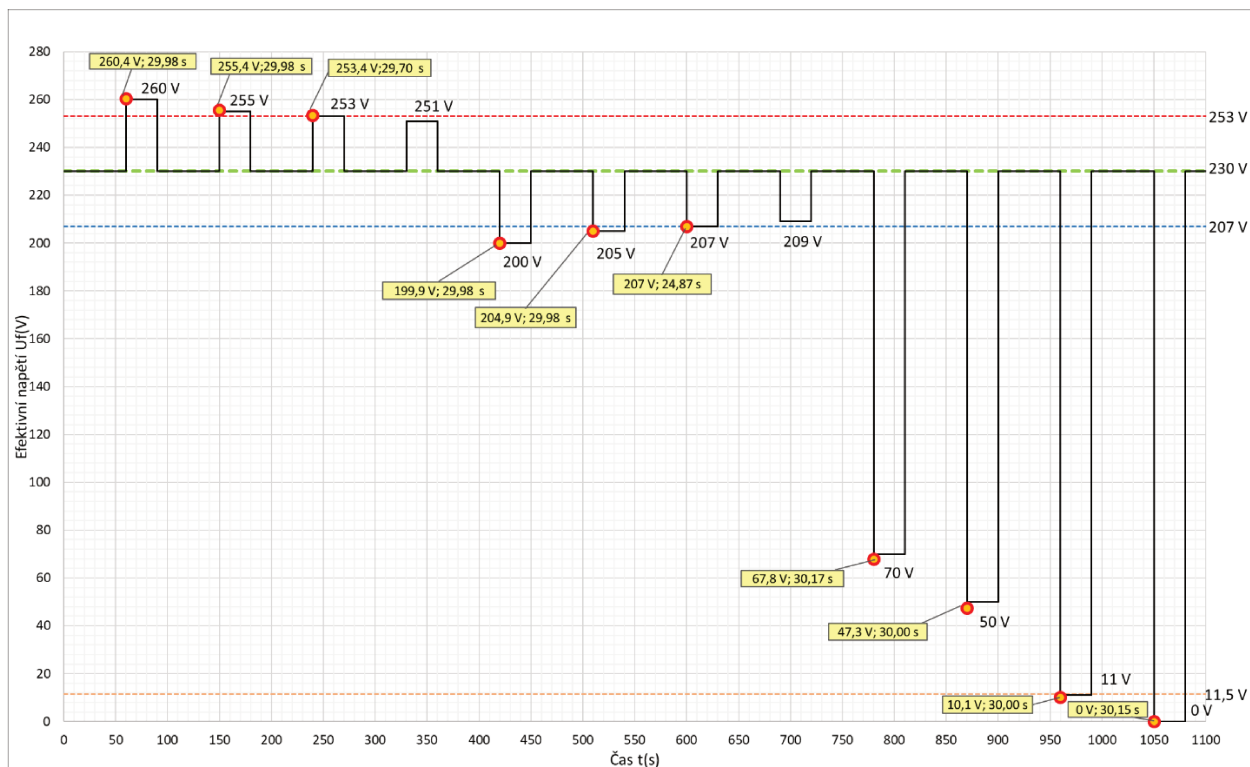


Obr. 25- Graf vyhodnocených hodnot ENA330 (velmi rychlé změny)

5.2.2 Vyhodnocení dat z ENA075

Tab. 17 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA075 (pomalé změny)

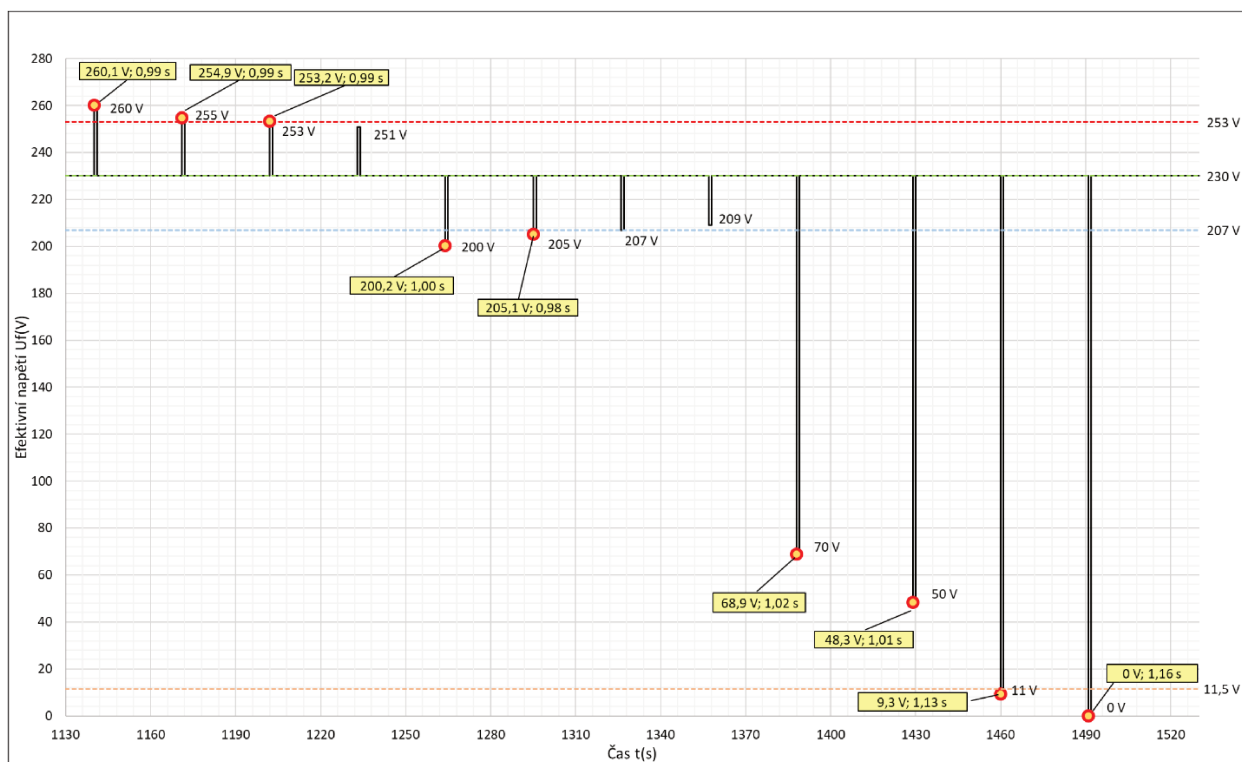
testovací průběh			ENA330		rozdíl (abs. hodnota)		rozdíl(proc.hodnota)	
pořadí	čas(s)	Uef(V)	Uef(V)	čas(s)	Uef(V)	čas(s)	Uef(%)	čas(%)
1	30	260	260,4	29,98	0,40	-0,02	0,154%	-0,067%
2	30	255	255,4	29,98	0,40	-0,02	0,157%	-0,067%
3	30	253	253,4	29,70	0,40	-0,30	0,158%	-1,000%
4	30	251	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
5	30	200	199,9	29,98	-0,10	-0,02	-0,050%	-0,067%
6	30	205	204,9	29,98	-0,10	-0,02	-0,049%	-0,067%
7	30	207	207	24,87	0,00	-5,13	0,000%	-17,100%
8	30	209	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
9	30	70	67,8	30,16	-2,20	0,16	-3,143%	0,533%
10	30	50	47,3	30,00	-2,70	0,00	-5,400%	0,000%
11	30	11	10,1	20,00	-0,90	-10,00	-8,182%	-33,333%
12	30	0	0	30,15	0,00	0,15	0,000%	0,500%



Obr. 26- Graf vyhodnocených hodnot ENA075 (pomalé změny)

Tab. 18 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA075 (středně rychlé změny)

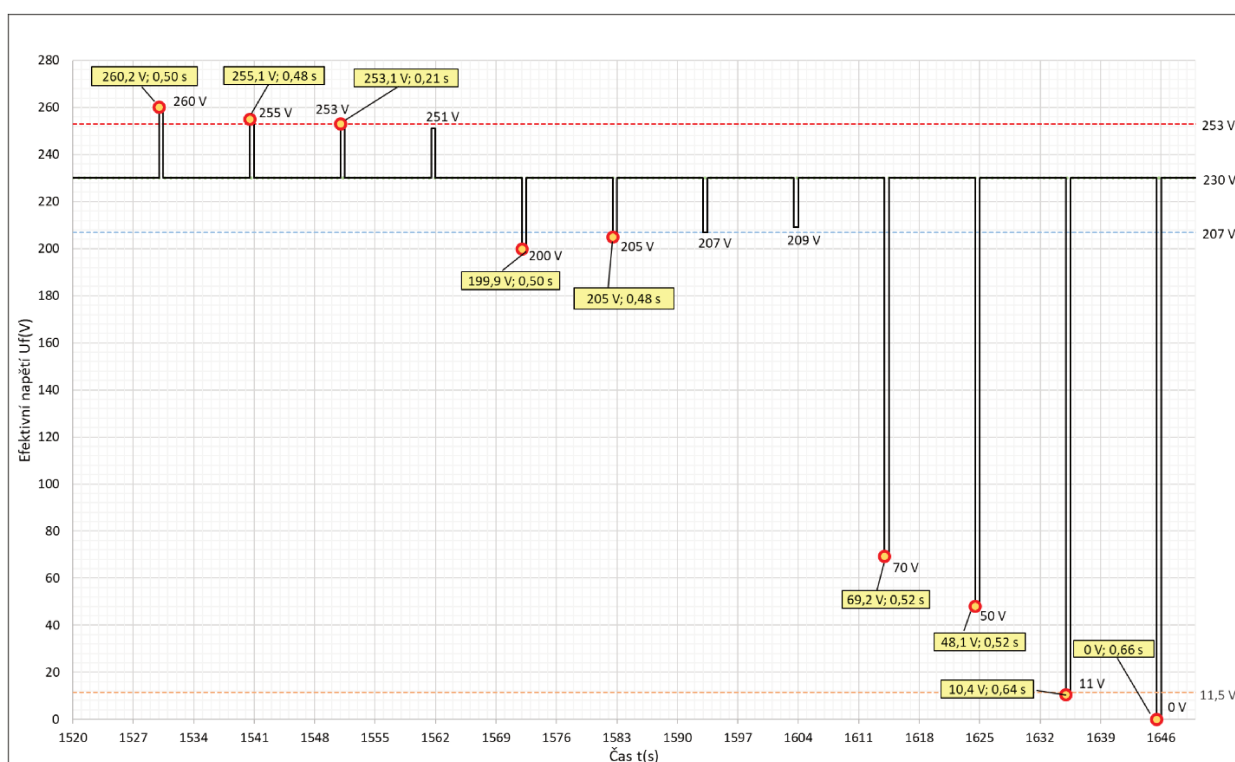
testovací průběh			ENA075		rozdíl (abs. hodnota)		rozdíl (proc.hodnota)	
pořadí	čas(s)	Uef(V)	Uef(V)	čas(s)	Uef(V)	čas(s)	Uef(%)	čas(%)
1	1	260	260,2	0,99	0,20	-0,01	0,077%	-1,000%
2	1	255	254,9	0,99	-0,10	-0,01	-0,039%	-1,000%
3	1	253	253,2	0,99	0,20	-0,01	0,079%	-1,000%
4	1	251	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
5	1	200	200,2	1,00	0,20	0,00	0,100%	0,000%
6	1	205	205,1	0,98	0,10	-0,02	0,049%	-2,000%
7	1	207	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
8	1	209	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
9	1	70	68,9	1,02	-1,10	0,02	-1,571%	2,000%
10	1	50	48,3	1,01	-1,70	0,01	-3,400%	1,000%
11	1	11	9,3	1,13	-1,70	0,13	-15,455%	13,000%
12	1	0	0	1,16	0,00	0,16	0,000%	16,000%



Obr. 27 - Graf vyhodnocených hodnot ENA075 (středně rychlé změny)

Tab. 19 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA075 (rychlé změny)

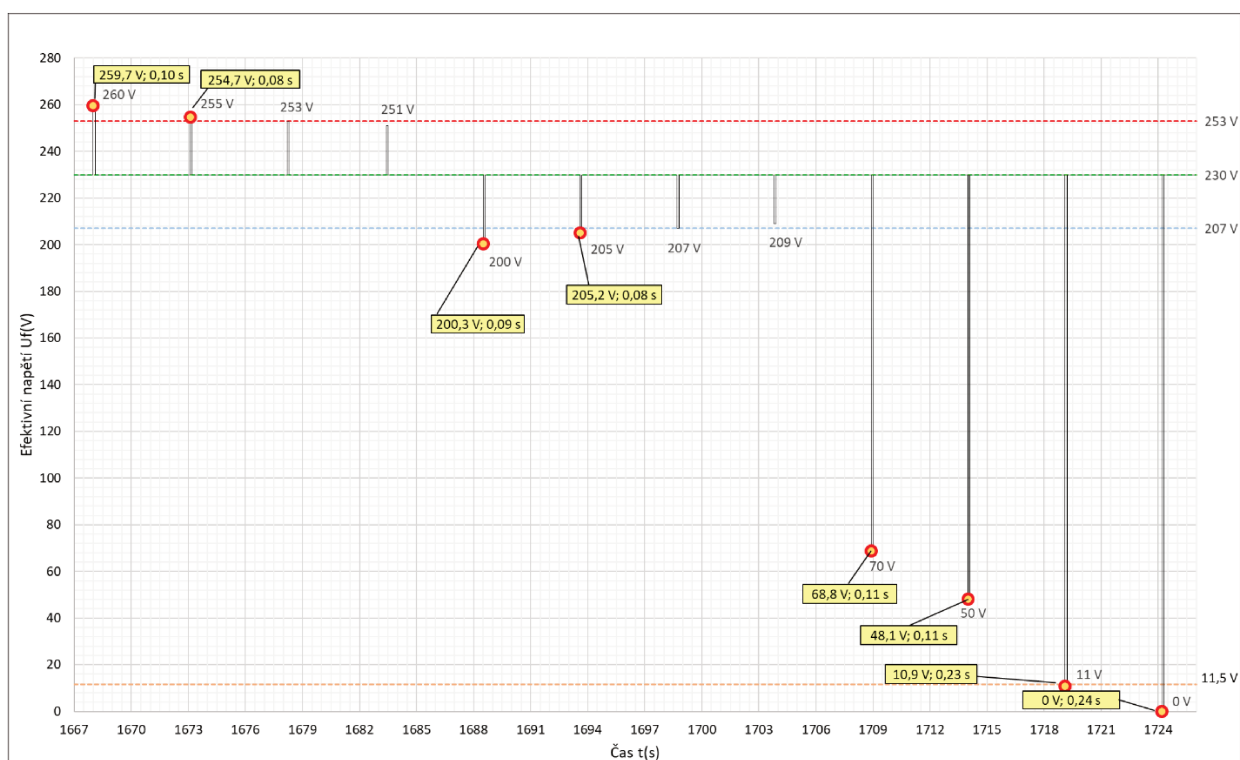
testovací průběh			ENA075		rozdíl (abs. hodnota)		rozdíl (proc.hodnota)	
pořadí	čas(s)	Uef(V)	Uef(V)	čas(s)	Uef(V)	čas(s)	Uef(%)	čas(%)
1	0,5	260	260,2	0,50	0,20	0,00	0,077%	0,000%
2	0,5	255	255,1	0,48	0,10	-0,02	0,039%	-4,000%
3	0,5	253	253,1	0,21	0,10	-0,29	0,040%	-58,000%
4	0,5	251	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
5	0,5	200	199,9	0,50	-0,10	0,00	-0,050%	0,000%
6	0,5	205	205	0,48	0,00	-0,02	0,000%	-4,000%
7	0,5	207	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
8	0,5	209	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
9	0,5	70	69,2	0,52	-0,80	0,02	-1,143%	4,000%
10	0,5	50	48,3	0,52	-1,70	0,02	-3,400%	4,000%
11	0,5	11	10,4	0,64	-0,60	0,14	-5,455%	28,000%
12	0,5	0	0	0,66	0,00	0,16	0,000%	32,000%



Obr. 28 - Graf vyhodnocených hodnot ENA075 (rychlé změny)

Tab. 20 - Tabulka vyhodnocení hodnot ENA075 (velmi rychlé změny)

testovací průběh			ENA075		rozdíl (abs. hodnota)		rozdíl (proc.hodnota)	
pořadí	čas(s)	Uef(V)	Uef(V)	čas(s)	Uef(V)	čas(s)	Uef(%)	čas(%)
1	0,1	260	259,7	0,10	-0,30	0,00	-0,115%	0,000%
2	0,1	255	254,7	0,08	-0,30	-0,02	-0,118%	-20,000%
3	0,1	253	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
4	0,1	251	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
5	0,1	200	200,3	0,09	0,30	-0,01	0,150%	-10,000%
6	0,1	205	205,2	0,08	0,20	-0,02	0,098%	-20,000%
7	0,1	207	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
8	0,1	209	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
9	0,1	70	68,8	0,11	-1,20	0,01	-1,714%	10,000%
10	0,1	50	48,1	0,11	-1,90	0,01	-3,800%	10,000%
11	0,1	11	10,9	0,23	-0,10	0,13	-0,909%	130,000%
12	0,1	0	0	0,25	0,00	0,15	0,000%	150,000%

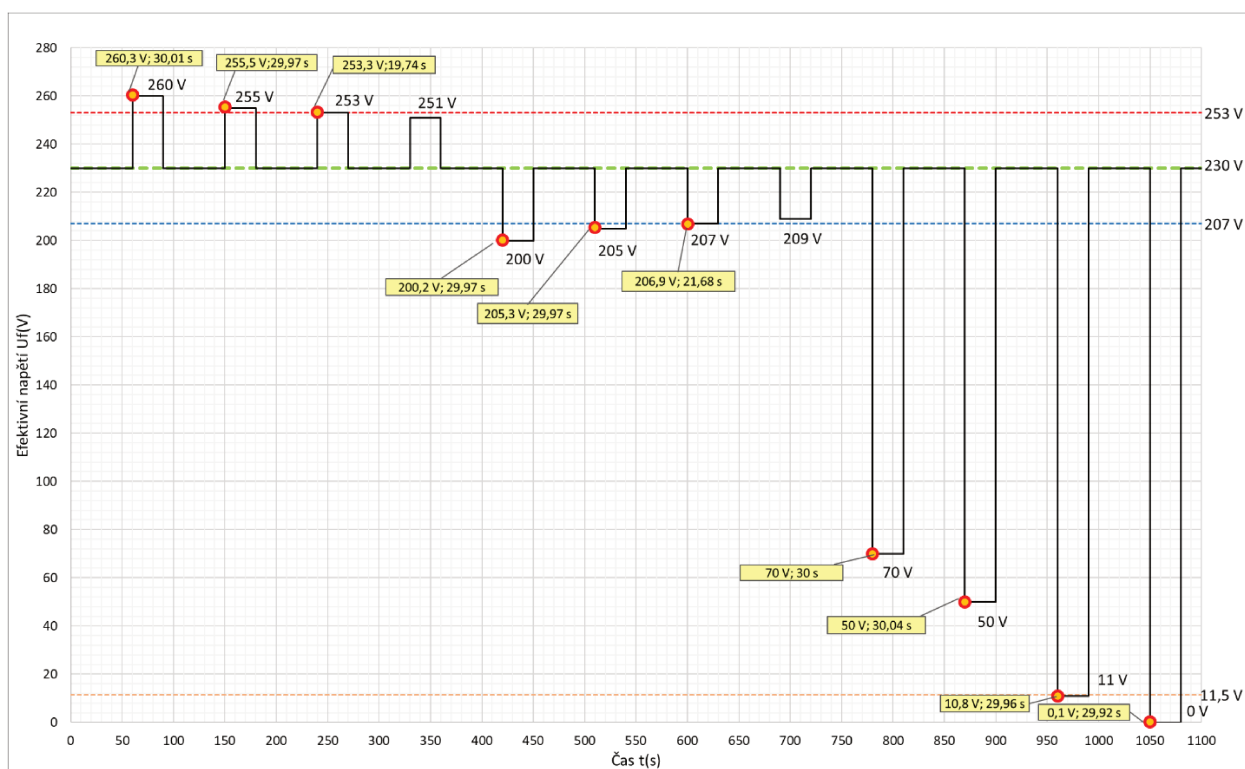


Obr. 29 - Graf vyhodnocených hodnot ENA075 (velmi rychlé změny)

5.2.3 Vyhodnocení dat z SL7000

Tab. 21 - Tabulka vyhodnocení hodnot SL7000 (pomalé změny)

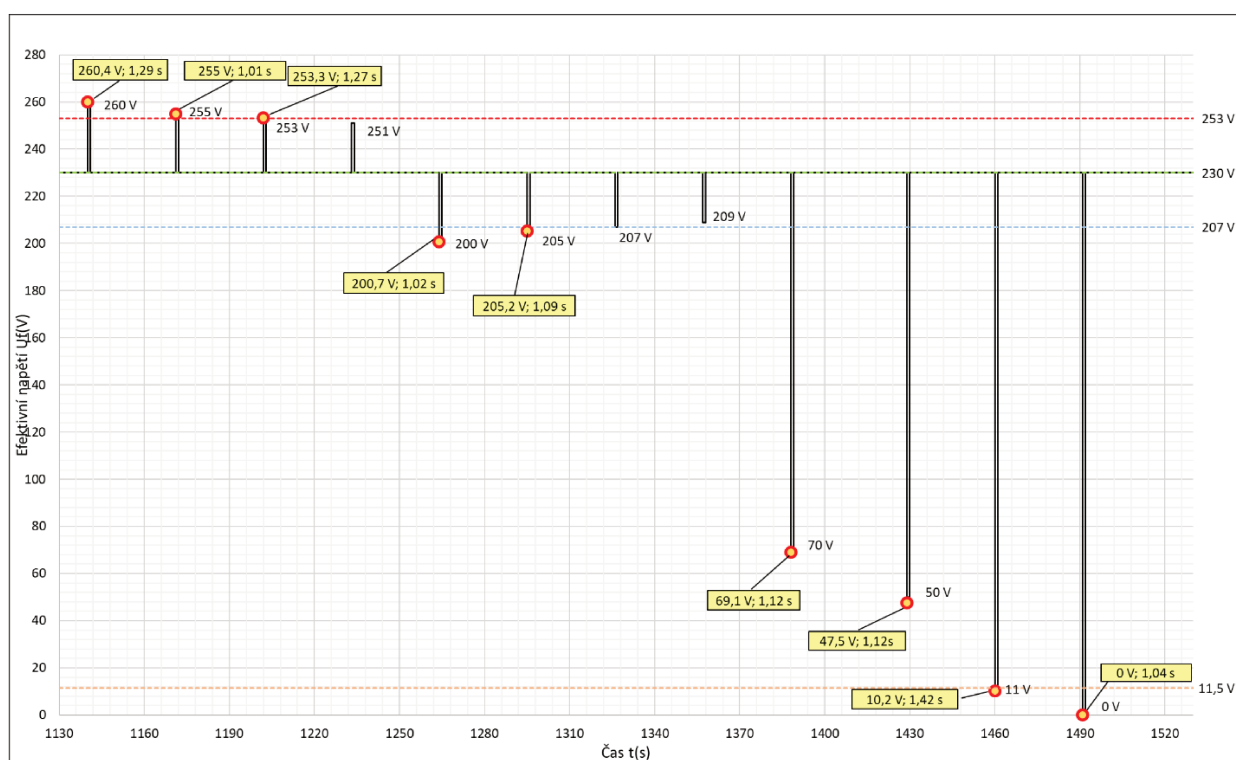
testovací průběh			SL7000			rozdíl (abs. hodnota)		rozdíl (proc.hodnota)	
pořadí	čas(s)	Uef(V)	Uef(V)	čas(s)	Uef(V)	čas(s)	Uef(%)	čas(%)	
1	30	260	260,2	30,01	0,20	0,01	0,077%	0,033%	
2	30	255	255,1	29,97	0,10	-0,03	0,039%	-0,100%	
3	30	253	253,2	19,74	0,20	-10,26	0,079%	-34,200%	
4	30	251	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%	
5	30	200	200,2	29,97	0,20	-0,03	0,100%	-0,100%	
6	30	205	205,3	29,97	0,30	-0,03	0,146%	-0,100%	
7	30	207	206,9	21,68	-0,10	-8,32	-0,048%	-27,733%	
8	30	209	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%	
9	30	70	70	30,00	0,00	0,00	0,000%	0,000%	
10	30	50	50	30,04	0,00	0,04	0,000%	0,133%	
11	30	11	10,8	29,96	-0,20	-0,04	-1,818%	-0,133%	
12	30	0	0,1	29,92	0,10	-0,08	0,000%	-0,267%	



Obr. 30 - Graf vyhodnocených hodnot SL7000 (pomalé změny)

Tab. 22 - Tabulka vyhodnocení hodnot SL7000 (středně rychlé změny)

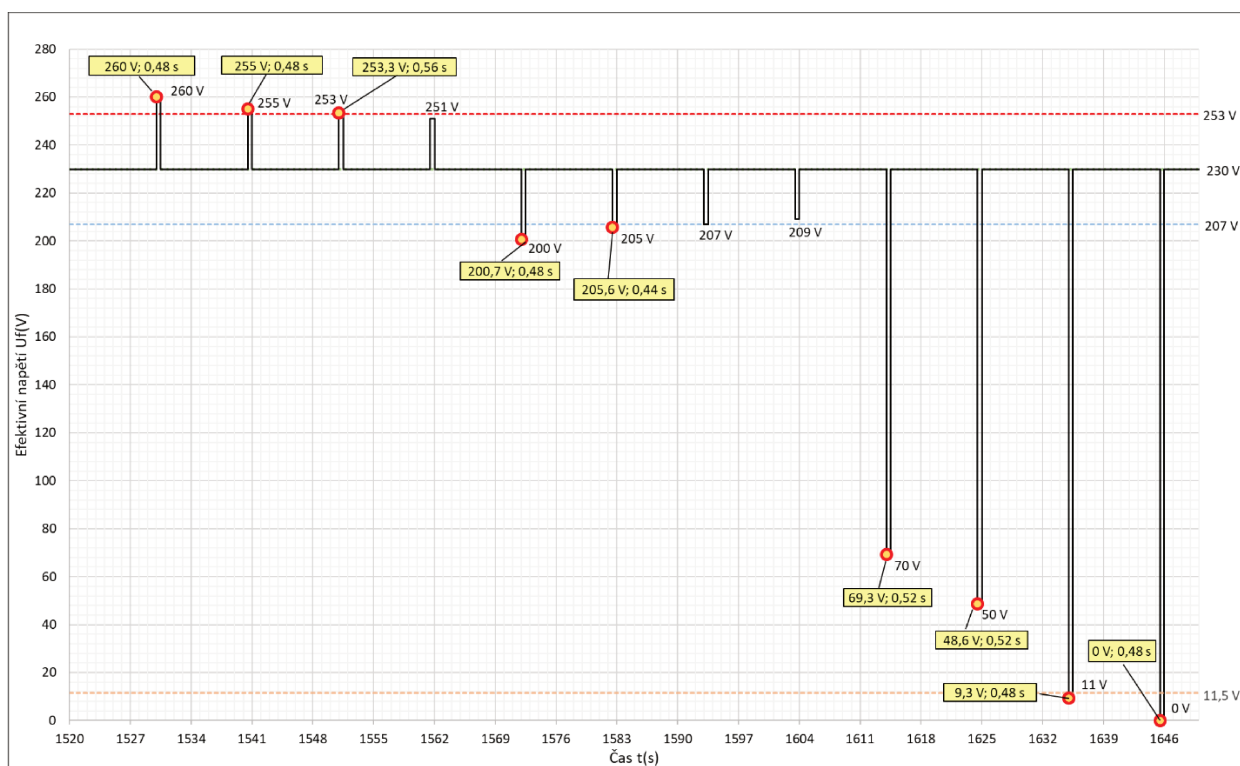
testovací průběh			SL7000		rozdíl (abs. hodnota)		rozdíl (proc.hodnota)	
pořadí	čas(s)	Uef(V)	Uef(V)	čas(s)	Uef(V)	čas(s)	Uef(%)	čas(%)
1	1	260	260,4	1,29	0,40	0,29	0,154%	29,000%
2	1	255	255	1,01	0,00	0,01	0,000%	1,000%
3	1	253	253,3	1,27	0,30	0,27	0,119%	27,000%
4	1	251	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
5	1	200	200,7	1,02	0,70	0,02	0,350%	2,000%
6	1	205	205,2	1,09	0,20	0,09	0,098%	9,000%
7	1	207	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
8	1	209	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
9	1	70	69,1	1,12	-0,90	0,12	-1,286%	12,000%
10	1	50	47,5	1,12	-2,50	0,12	-5,000%	12,000%
11	1	11	10,2	1,42	-0,80	0,42	-7,273%	42,000%
12	1	0	0	1.04	0.00	0.04	0.000%	4.000%



Obr. 31 - Graf vyhodnocených hodnot SL7000 (středně rychlé změny)

Tab. 23 - Tabulka vyhodnocení hodnot SL7000 (rychlé změny)

testovací průběh			SL7000		rozdíl (abs. hodnota)		rozdíl (proc.hodnota)	
pořadí	čas(s)	Uef(V)	Uef(V)	čas(s)	Uef(V)	čas(s)	Uef(%)	čas(%)
1	0,5	260	260	0,48	0,00	-0,02	0,000%	-4,000%
2	0,5	255	255	0,48	0,00	-0,02	0,000%	-4,000%
3	0,5	253	253,3	0,56	0,30	0,06	0,119%	12,000%
4	0,5	251	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
5	0,5	200	200,7	0,48	0,70	-0,02	0,350%	-4,000%
6	0,5	205	205,6	0,44	0,60	-0,06	0,293%	-12,000%
7	0,5	207	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
8	0,5	209	/	/	0,00	0,00	0,000%	0,000%
9	0,5	70	69,3	0,52	-0,70	0,02	-1,000%	4,000%
10	0,5	50	48,6	0,52	-1,40	0,02	-2,800%	4,000%
11	0,5	11	9,3	0,48	-1,70	-0,02	-15,455%	-4,000%
12	0,5	0	0	0,48	0,00	-0,02	0,000%	-4,000%



Obr. 32 - Graf vyhodnocených hodnot SL7000 (rychlé změny)

5.3 Zhodnocení výsledků

Přístroje otestované metodikou měření zaznamenaly všechny události překračující limitní hodnoty podle normy ČSN EN 50160 ed. 3[1]. Změna napětí vyhodnocena jako falešná událost nebyla tedy ani jedna. V případě, že byla úroveň testovacího napětí rovna limitní hodnotě došlo k záznamu jen zřídka. Většinou tomu tak bylo u přepětí. V drtivé většině přepětí a podpětí zaznamenaly přístroje správnou hodnotu napětí i délky trvání události.

Největší problém měřicím přístrojům působila část průběhu soustředící se na hluboká podpětí a přerušení. V této oblasti přístroje zaznamenávaly spoustu chybných úrovní napětí i času. V této problematické oblasti nejlépe měřil analyzátor sítě určený pro měření třídy A, ENA330.

Analyzátor sítě určený pro měření třídy B, ENA075 zaznamenával události s menší přesností, avšak pro naplnění požadavků normy s dostatečnou rezervou. V oblasti pomalých a středně rychlých změn dokonce, až na výjimky, splňoval kritéria pro měření ve vyšší třídě.

Elektroměr s možností sledování kvality elektřiny SL7000 testem prošel nad očekávání dobře. S ohledem na skutečnost, že elektroměry mají, ve většině případů, za úkol sledovat spotřebu energie, změřil většinu testovaných událostí s ohledem na úroveň napětí velmi dobře. S ohledem na délku změřených událostí však už nedosahoval tak dobých výsledků. Na rozdíl od dvojice analyzátorů nebyl testován na velmi rychlé změny, tedy události o době trvání 100 ms. Technické parametry přístroje by neumožňovaly získat smysluplné hodnoty.

6 Závěr

Realizace návrhu metodiky proběhla v souladu se zadáním. Došlo k navržení metodiky měření, jejímu otestování a následnému vyhodnocení.

V první řadě jsem nastudoval příslušné normy pojednávající o kvalitě elektrické energie a možnostech měření. Se získaným přehledem jsem vytvořil souhrn parametrů kvality elektrické energie popisující stěžejní vlastnosti elektrické sítě.

Dále jsem vybral parametry kvality, na které jsem soustředil návrh metodiky měření. Vybral jsem změny amplitudy napětí v síti popsané jako přepětí, podpětí a přerušení. Tyto změny patří mezi nejvíce hlídané parametry kvality s ohledem na bezpečnost a správné fungování spotřebičů a instalací zapojených do elektrické sítě.

Dalším krokem při cestě za úspěšným návrhem metodiky měření jsem nastudoval dělení a možnosti přístrojů určených pro sledování kvality elektřiny. Na základě nabytých vědomostí jsem vytvořil soubor těchto přístrojů a vybral vhodné zařízení pro testování.

Návrh metodiky jsem pojal tak, aby mohlo být otestováno více přístrojů najednou, což umožňuje nejen porovnání s požadavky normy, ale i srovnání přístrojů mezi sebou. Testovací průběh jsem navrhl tak, aby zjistil, jak přístroje reagují na změny úrovní napětí blízkých limitním hodnotám popsaných v normě ČSN EN 50160 ed. 3[1] o délce trvání 100ms – 30s.

Navrženou metodiku měření jsem otestoval na vybraných přístrojích a po řadě pokusů vybral nejlepší způsob provedení, který jsem uvedl do bakalářské práce. Testování zahrnovalo zapojení přístrojů, naprogramování testovacího průběhu, samotné měření a v neposlední řadě vyčtení hodnot z přístrojů.

Z naměřených dat jsem vytvořil přehledný soubor grafů a tabulek popisující, jak vybrané přístroje při testování metodiky obstály. Z výsledných hodnot lze nejen porovnat měření s požadavky normy, ale lze i srovnat přístroje mezi sebou. Vytvořené soubory jsou k dispozici v elektronických přílohách bakalářské práce a při opakování testů lze pomocí nich provést vyhodnocení dalších přístrojů.

Metodika měření otestovala vybrané přístroje na přerušení, přepětí a podpětí. Výstupem snažení je smysluplný soubor dat popisující výsledky testů.

V rámci dalšího rozšíření práce by bylo možné do testovacího průběhu zahrnout další parametry kvality elektrické energie nebo otestovat průběh na více fázích. Dalším možným rozšířením by byl návrh automatického vyčítání dat z přístrojů, což by velmi urychlilo práci, avšak značně omezilo spektrum možných testovaných zařízení.

Literatura

- [1] ČSN EN 50160 ed. 3. (330122). *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. CENELEC. překlad: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 32 s.
- [2] ČSN EN 61000-4-30 ed. 3. (333432). *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-30: Zkušební a měřicí technika - Metody měření kvality energie.*, převzatá EN, překlad úvodní strany: NELKO Tanvald a Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 40 s.
- [3] BILÍK, Petr. Monitorování kvality elektřiny, Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/monitorovani-kvality-elekriny--11770>
- [4] Manuál přístroje ENA330, Dostupné z WWW: <https://www.elcom.cz/cz/>
- [5] Manuál přístroje Dewe-571, Dostupné z WWW: <https://www.dewetron.com>
- [6] Manuál přístroje SL7000, Dostupné z WWW: <http://www.elektromery.com>
- [7] BILÍK, Petr., HRUDKA, Gustav,
Měření účinnosti měniče frekvence analyzátozem napájecích sítí BK-ELCOM
Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/mereni-ucinnosti-menice-frekvence-analyzatozem-napajecich-siti-bk-elcom--11951>
- [4] Manuál přístroje HP6834B, Dostupné z WWW: <http://ridl.cfd.rit.edu/products/manuals/Agilent/power%20supplies/CD1/Model/6814usra.pdf>
https://www.testequipmentconnection.com/specs/AGILENT-HP_6834B.PDF
- [9] GOSSEN-METRAWATT / VMS / HG. Sledování kvality sítí pomocí síťového analyzátoru MAVOLOG 10. 2001. 29 s. Dostupné z WWW: <http://archive.gmc.cz/pdf/Mavolog10slide.pdf>
- [10] Charakteristiky napětí elektrické sítě ve veřejné distribuční síti, Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie Dostupné z WWW: <https://www.csres.cz/Upload/PNE%2033%203430-7kn.pdf>
- [11] Fotografie měřicí techniky, Dostupné z WWW: <https://www.ghvtrading.cz/merici-pristroje/analyzatory/>
- [12] BOLLEN, Math H. J. *Understanding power quality problems: voltage sags and interruptions*. New York: IEEE Press, c2000. ISBN 0-7803-4713-7.
- [13] ŠINDELÁŘ, Václav. *Slovník metrologie, zkušebnictví a praktické fyziky* [CD-ROM]. Praha: Česká metrologická společnost, 2002.